

Université de Montréal

**Effets du vieillissement normal sur la mémoire de travail et
ses composantes attentionnelles :
Déclin sur 5 ans et effets de réserve**

par Audrey Cordière

Département de Psychologie
Faculté des Arts et des Sciences

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
en psychologie – recherche et intervention
option neuropsychologie clinique

juillet, 2016

© Audrey Cordière, 2016

Résumé

Avec l'allongement de l'espérance de vie, il devient essentiel de mieux comprendre les changements cognitifs qui accompagnent le vieillissement normal. La mémoire de travail (MDT) est un système qui permet de maintenir temporairement et de manipuler une petite quantité d'informations ; c'est une fonction cognitive particulièrement importante, impliquée dans la réalisation d'un grand nombre d'activités quotidiennes complexes. L'affaiblissement de la MDT affecte l'ensemble du fonctionnement cognitif et a ainsi un impact sur l'autonomie. Cette thèse porte sur les effets du vieillissement normal sur la MDT et sur les fonctions de contrôle attentionnel (FCA) qui la sous-tendent : l'inhibition, l'alternance et la mise à jour. Nous nous intéressons également à l'éducation et à la pratique d'activités cognitivement stimulantes comme facteurs de protection du déclin de la MDT.

L'objectif de la première étude (Chapitre II) était d'examiner les changements liés à l'avancée en âge sur la MDT et les FCA, sur une période de 5 ans. Les participants ont été évalués à deux reprises à 5 ans d'intervalle (Temps 1 ; Sylvain-Roy, Lungu, & Belleville, 2015a) avec trois tâches complexes de MDT (empan de phrases, Brown-Peterson et empan alphabétique) et plusieurs mesures d'inhibition, d'alternance et de mise à jour. Afin d'explorer la possibilité que le déclin sur 5 ans soit modulé par l'âge, nous avons séparé les participants en « jeunes-âgés » (âge moyen au Temps 1: 65,79) et « âgés-âgés » (âge moyen au Temps 1 : 75). Des analyses de variance répétées ont été conduites afin d'examiner l'effet du temps et l'interaction entre le temps et le groupe d'âge. Les analyses ont révélé un effet significatif du temps suggérant un déclin des performances après 5 ans sur l'ensemble des épreuves de MDT ainsi que pour les mesures d'inhibition et d'alternance. Aucune interaction entre le temps et le groupe d'âge n'a été mise en évidence, suggérant que les âgés-âgés ne présentent pas de déclin plus important que les jeunes-âgés. Cette étude montre que le vieillissement normal est marqué par d'importants changements généralisés aux trois tâches de MDT et à la plupart des FCA après seulement 5 ans et que le déclin est similaire quel que soit l'âge. Les implications théoriques et cliniques de ces résultats seront discutées.

La deuxième étude (Chapitre III) avait pour objectif d'explorer l'effet de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur le déclin de la MDT lors du suivi à 5 ans. Des régressions linéaires simples et multiples ont permis de mettre en évidence un effet protecteur de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur le déclin au Brown-Peterson pour l'ensemble des participants. Concernant l'éducation, les résultats indiquent une interaction avec l'âge pour les performances de base (Temps 1) et pour le déclin à la tâche de Brown-Peterson. Plus précisément, seuls les jeunes-âgés semblent protégés par l'effet de l'éducation au Temps 1 puis cet effet disparaît entraînant même un déclin plus important des jeunes-âgés les plus éduqués par rapport aux âgés-âgés. Aucune interaction entre l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes n'a été mise en évidence. Les deux autres tâches de MDT (empan de phrases et empan alphabétique) ne semblent bénéficier ni de l'éducation, ni des activités cognitivement stimulantes. Cette étude met en évidence un effet protecteur indépendant de la pratique d'activités cognitivement stimulantes et de l'éducation sur une tâche complexe de MDT. De plus, cette étude suggère que certains facteurs de protection pourraient avoir un effet différent selon l'âge.

***Mots-clés** : âgés, longitudinal, éducation, activités cognitivement stimulantes.*

Abstract

With increasing life expectancy, it is becoming essential to better understand the cognitive changes associated with normal aging. Working memory (WM) is a limited capacity system that temporarily holds and manipulates a small amount of information; it is a particularly important cognitive function, involved in numerous complex daily activities. A WM impairment affects the whole cognitive functioning and thus has an impact on autonomy. This thesis assesses the age effects on WM and on attentional control functions (ACFs) that underlie this system: inhibition, shifting and updating. We are also interested in the effects of education and cognitively stimulating activities as protective factors on age-related WM decline.

The first study (Chapter II) aimed at examining the age effects on WM and ACFs over a five-year period. Participants were evaluated twice over 5 years (Time 1; Sylvain-Roy, Lungu, & Belleville, 2015a) by three complex WM tasks (i.e., reading span, Brown-Peterson and alpha span) and multiple measures of inhibition, shifting and updating. In order to explore the possibility that decline over 5 years is modulated by age, we separated the participants into a “young-old” group (mean age at Time 1: 65.79) and an “old-old” group (mean age at Time 1: 75). Repeated analyses of variance were conducted in order to examine the effect of time and the interaction between time and group. Results showed a significant decline, over 5 years, for all three complex WM tasks and for measures of inhibition and shifting. Results showed no interaction between time and group, which indicated that the old-old group did not show a greater decline relative to young-old participants. This study shows that normal aging is marked by important and pervasive changes in WM and in most ACFs over a relatively short five-year period. Moreover, old-old and young-old participants show a similar rate of decline; theoretical and clinical implications will be discussed.

The second study (Chapter III) aimed at exploring effects of education and cognitively stimulating activities on WM decline. Simple and multiple linear regressions showed a protective effect of cognitively stimulating activities on decline for the Brown-Peterson task

for all participants. Results also showed an interaction between age and education for baseline performances (Time 1) and for decline on the Brown-Peterson task. That is, only young-old participants seemed to benefit from education on baseline performances. This protective effect then recedes, leading to a greater decline over time for young-old compared to old-old participants. No interaction was found between education and cognitively stimulating activities. The other two WM tasks (i.e., reading span and alpha span) did not seem to benefit from protective effects of education or cognitively stimulating activities. This study shows a protective independent effect of education and the practice of cognitively stimulating activities on one complex WM task. Moreover, this study suggests that the impact of some protective factors could vary with age.

***Keywords:** aging, longitudinal, education, cognitively stimulating activities.*

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	iii
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	ix
Liste des abréviations.....	x
Remerciements.....	xi
Avant-propos.....	1
Chapitre I : Contexte théorique.....	4
1.1 Étudier le vieillissement.....	5
1.1.1 L'importance des termes.....	5
1.1.2 Les différents plans expérimentaux.....	6
1.1.2.1 Études transversales.....	6
1.1.2.2 Études longitudinales	8
1.1.3 Comparaison des résultats transversaux et longitudinaux.....	9
1.2 Mémoire de travail.....	11
1.2.1 Définition.....	11
1.2.2 Modélisation de la mémoire de travail.....	11
1.2.3 Fractionnement de l'administrateur central.....	13
1.2.4 Modèle de contrôle attentionnel de Miyake et collaborateurs.....	13
1.3 Vieillesse normale, mémoire de travail et fonctions de contrôle attentionnel	16
1.3.1 Effets du vieillissement normal sur la mémoire de travail.....	16
1.3.2 Effets du vieillissement normal sur les fonctions de contrôle attentionnel	18
1.3.3 Résumé des résultats et éléments d'explication.....	21
1.4 Facteurs de protection.....	22
1.4.1 Les différences interindividuelles liées au style de vie.....	22
1.4.2 La théorie co-constructiviste.....	22
1.4.3 Définition des expériences cognitives.....	24
1.4.4 Caractérisation des expériences cognitives.....	26

1.5 Effets des expériences cognitives sur la mémoire de travail.....	27
1.5.1 Études portant sur la mémoire de travail.....	27
1.5.2 Interaction entre les facteurs de protection.....	28
1.5.3 L'effet des expériences cognitives selon l'âge.....	29
1.6 Objectifs et hypothèse de recherche	31
1.6.1 Article 1.....	32
1.6.2 Article 2.....	32
Chapitre II : Article 1.....	35
Cordière, A., Sylvain-Roy, S., & Belleville, S. (soumis). Five-year longitudinal changes in working memory in older age.	
Chapitre III : Article 2.....	69
Cordière, A., Cloutier, S., & Belleville, S. (en préparation). Protective effects of early-life and late-life cognitive experiences on the age-related decline of working memory	
Chapitre IV : Discussion générale	104
4.1 Rappel des objectifs et synthèse des résultats	105
4.1.1 Synthèse des résultats pour l'article 1.....	105
4.1.2 Synthèse des résultats pour l'article 2.....	107
4.2 Implications théoriques de la thèse	109
4.2.1 Effets du vieillissement normal sur la mémoire de travail et les fonctions de contrôle attentionnel.....	109
4.2.1.1 Déclin en mémoire de travail complexe.....	109
4.2.1.2 Déclin des fonctions de contrôle attentionnel.....	111
4.2.2 Profil de déclin chez les jeunes-âgés et les âgés-âgés	113
4.2.3 Effets protecteurs sur la mémoire de travail.....	115
4.2.4 Notion de réserve	116
4.2.5 Indépendance des facteurs de protection expliquée dans le contexte de la réserve.....	117
4.2.6 Moment d'acquisition des facteurs de protection.....	119

4.2.7 Effet sélectif des facteurs de protection.....	120
4.2.8 Nos résultats dans le contexte de la théorie co-constructiviste.....	121
4.2.9 Le lien entre nos deux études.....	123
4.3 Implications cliniques de la thèse.....	126
4.4 Limites de la thèse.....	129
4.5 Perspectives futures	130
Bibliographie pour le contexte théorique et la discussion générale.....	133

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau I : Moyennes et déviations standard aux questionnaires de santé et mesures neuropsychologiques.....	54
Tableau II : Moyennes et déviations standard à la tâche d'empan de phrases.....	55
Tableau III : Moyennes et déviations standard à la tâche de Brown-Peterson.....	56
Tableau IV : Moyennes et déviations standard à la tâche d'empan alphabétique	57
Tableau V : Moyennes et déviations standard aux tâches de fonctions de contrôle attentionnel	58

Chapitre III

Tableau I : Moyennes et déviations standard pour les caractéristiques démographiques, les mesures cognitives globales, les questionnaires de santé et les facteurs de protection.....	88
Tableau II : Moyennes et déviations standard pour les trois tâches de MDT	89
Tableau III : Analyses de régression simples et multiples pour les performances de base et les changements à la tâche de Brown-Peterson...	90

Liste des figures

Chapitre III

Figure 1 : Interaction entre l'éducation et l'âge pour les performances de base à la tâche de Brown-Peterson.....	91
Figure 2 : Interaction entre l'éducation et l'âge pour les changements à la tâche de Brown-Peterson	92
Figure 3 : Changements à la tâche de Brown-Peterson selon l'âge et le score d'éducation	93
Figure 4 : Activités cognitivement stimulantes et changements liés à l'âge à la tâche de Brown-Peterson.....	94

Liste des abréviations

ACF : Attentional Control Function

ANOVA : Analyse de Variance

CST : California Stroop Test

FCA : Fonction de Contrôle Attentionnel

GDS : Geriatric Depression Scale

MDT : Mémoire De Travail

MMSE : Mini Mental State Examination

MoCA : Montréal Cognitive Assessment

RL/RI16 : Rappel Libre/Rappel Indiqué à 16 items

SAS : Système Attentionnel Superviseur

SLS : Seattle Longitudinal Study

TR : Temps de Réaction

VD : Variable Dépendante

VLS : Victoria Longitudinal Study

WAIS-IV : Wechsler Adult Intelligence Scale, 4th edition

WCST : Wisconsin Card Sorting Test

WM : Working memory

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Sylvie Belleville, ma directrice de recherche qui s'est toujours montrée disponible et de très bon conseil. Il arrivait souvent que j'entre dans le bureau de Sylvie remplie de doutes et de questionnements mais j'en ressortais éclairée, motivée et excitée par la poursuite de nos objectifs. Sa grande intelligence et sa passion m'ont énormément fait progresser ; j'ai acquis de nombreuses connaissances dans le domaine du vieillissement, j'ai appris à mener une recherche mais plus généralement ce travail de thèse a également eu un impact sur ma manière de penser, de réfléchir aux choses tant dans le domaine professionnel que personnel. Merci de m'avoir toujours poussée à me dépasser.

Aussi, un grand merci aux personnes du labo pour leurs conseils et leur soutien dans les moments plus difficiles. Un merci particulier à Émilie Lepage qui m'a beaucoup aidée tant par ses actes que par sa bonne humeur. Merci également à Céline Fouquet et Samira Mellah puis aux étudiants du labo actuels : Benjamin, Bianca, Émilie, Gabriel, Joni, Nick et Simon, et anciens : Anne-Sophie et Isabelle. Je remercie tout particulièrement Stéphanie qui a été présente tout au long de mon parcours. Un grand merci également à Francine Giroux et à Miguel Chagnon, statisticiens, dont l'aide et la générosité ont été très précieuses.

Je souhaite également remercier mes superviseurs d'internat : Brigitte Depocas au Centre de réadaptation Lucie Bruneau, j'ai eu un réel plaisir à travailler avec elle ainsi qu'avec toute l'équipe du Programme de Réadaptation au Travail. Puis, Adriana Enriquez, Beatriz Mejia-Constain, Anik Guimond et Josie-Anne Bertrand à l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal auprès desquelles j'ai énormément appris et apprécié de travailler.

Évidemment, j'adresse un grand merci aux participants de recherche pour leur confiance.

Mon arrivée au Québec a été l'occasion de rencontrer des personnes importantes pour moi, en particulier Sandrine, Sabrina et Caroline qui m'ont accueillie à bras ouverts. Mais aussi Ikram, ma complice de sorties, toujours présente dans les moments importants. J'aimerais aussi remercier Brigitte Gilbert. Avec Sylvie Belleville, ce sont les deux personnes qui m'ont donné envie de venir au Québec pour effectuer un doctorat. Et j'ai aujourd'hui la chance de compter Sylvie Belleville comme directrice de recherche et Brigitte Gilbert comme collègue et amie.

Finalement, les plus importants de tous : mes parents, ma sœur, mes grands parents, et toute ma famille de près ou de loin qui m'a soutenu dans ce grand voyage qu'est la thèse! Votre amour, votre écoute et votre soutien inconditionnels ont été pour moi une grande source d'inspiration et m'ont poussée à me dépasser.

Avant-propos

En 2011, les personnes âgées de 65 ans et plus représentaient 15,7% de la population québécoise. Selon l'Institut de la Statistique du Québec (2015), les personnes de 65 ans et plus représenteront près de 25% de la population en 2031. Cette augmentation du nombre de personnes âgées ainsi que l'allongement de l'espérance de vie se retrouve également à l'échelle internationale de sorte que l'Organisation Mondiale de la Santé a fait du « bien-vieillir une priorité mondiale » (communiqué de presse, 2014). Un préalable au bien-vieillir est de comprendre les divers changements qui s'opèrent au sein du vieillissement normal ; à la fois sur le plan physique, psychologique mais également cognitif. En effet, le vieillissement normal est marqué par des changements cognitifs qui peuvent avoir d'importants impacts sur la qualité de vie quotidienne. Parmi les changements cognitifs qui accompagnent le vieillissement normal, nous nous intéressons ici plus particulièrement à la mémoire de travail (MDT).

La MDT est un système d'une capacité limitée qui nous permet de maintenir temporairement et de manipuler une petite quantité d'informations (Baddeley, 1992; Baddeley & Hitch, 1974). Au quotidien, elle est impliquée dans la réalisation d'un grand nombre d'activités complexes comme effectuer un calcul mental ou suivre une conversation. La MDT est fortement associée aux capacités intellectuelles (Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Hockey & Geffen, 2004; Unsworth & Engle, 2005), aux capacités de raisonnement (Kyllonen & Christal, 1990; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002) et aux compétences langagières (Kemper, Herman, & Liu, 2004). Elle participe au maintien de l'autonomie (Lauverjat, Pennequin, & Fontaine, 2005) et une réduction des capacités en MDT constitue une hypothèse explicative du déclin cognitif lié à l'âge (Baddeley, 1986). Plusieurs auteurs sont venus confirmer l'idée qu'une atteinte de la MDT contribuait aux effets liés au vieillissement dans des activités cognitives complexes telles que la compréhension du langage, la mémoire ou les capacités de raisonnement (voir Kirasic, Allen, Dobson, & Binder, 1996; Van der Linden et al., 1999). La MDT est une composante cognitive complexe qui reposerait

sur plusieurs fonctions de contrôle attentionnel (FCA ; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki & Howerter, 2000) : l'inhibition, l'alternance et la mise à jour. L'examen des changements liés à l'âge sur la MDT et les FCA qui la sous-tendent permettrait d'évaluer le modèle proposé par Miyake et ses collègues (2000) chez des personnes âgées mais aussi et surtout de mieux comprendre quand et comment s'opèrent ces changements : sont-ils généralisés à l'ensemble des tâches de MDT et des FCA? Sont-ils différents selon l'âge des participants? Enfin, il serait intéressant d'explorer le potentiel effet protecteur de certains facteurs tels que l'éducation ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur les changements liés à l'âge en MDT : l'effet des facteurs est-il cumulatif? Les effets diffèrent-ils selon l'âge des participants? Cette démarche nous inscrit dans une visée préventive du « bien vieillir » et nos résultats seront discutés en regard de la théorie co-constructiviste développée par P.B. Baltes (P.B. Baltes, Lindenberger, & Staudinger, 2006; P.B. Baltes, Staudinger, & Lindenberger, 1999).

La première étude présentée dans cette thèse examine les changements liés à l'âge sur la MDT et les FCA, sur une période de 5 ans en utilisant un plan expérimental longitudinal. La plupart des études portant sur le vieillissement utilisent un plan transversal plutôt qu'un devis longitudinal, ce qui peut mener à des biais d'interprétation dont nous discuterons plus loin (section 1.1.2). A ce jour et à notre connaissance, notre étude est la seule à s'intéresser de manière longitudinale aux effets du vieillissement normal sur la MDT et sur les FCA qui la sous-tendent. L'examen des changements liés à l'âge sur la MDT et les FCA pourrait permettre de documenter l'évolution de ces fonctions cognitives avec l'avancée en âge et d'évaluer le modèle de Miyake et collaborateurs (2000) chez des personnes âgées.

La seconde étude de la thèse s'intéresse aux potentiels facteurs de protection sur le déclin de la MDT. En effet, de nombreuses études mettent en évidence d'importantes différences interindividuelles au sein du vieillissement normal. Le concept de réserve rend compte du fait qu'au même âge, deux personnes peuvent présenter un fonctionnement cognitif différent. Ainsi, des facteurs tels que l'éducation ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes pourraient protéger des effets délétères du vieillissement. L'exploration de potentiels facteurs de protection pourrait permettre d'identifier les plus susceptibles de

protéger des effets de l'âge sur la MDT et de préciser leur impact. D'un point de vue clinique, cela permettrait de s'inscrire dans une optique préventive du « bien vieillir ».

L'introduction de la thèse présente les éléments méthodologiques et théoriques qui justifient chacune de ces études. La première section de l'introduction est méthodologique et porte sur les différents plans expérimentaux permettant l'étude du vieillissement et les biais d'interprétation qui y sont associés. La deuxième section présente différentes conceptualisations théoriques de la MDT puisque cette composante est au cœur de ce travail. La troisième section propose un état des lieux des études portant sur le vieillissement normal de la MDT et des FCA à la lumière des potentiels biais méthodologiques. Enfin, la quatrième section s'intéresse aux facteurs de protection au sein du vieillissement normal. Nous exposerons ensuite nos objectifs et hypothèses de recherche pour chacun des deux articles. Suivront ensuite nos deux articles : « Five-year longitudinal changes in working memory in older age » et « Protective effects of early-life and late-life cognitive experiences on the age-related decline of working memory ». Enfin nous proposerons une discussion générale incluant les implications théoriques et cliniques de la thèse mais aussi ses limites et les perspectives futures.

Chapitre I

Contexte théorique

1.1. Étude du vieillissement

1.1.1. L'importance des termes

Les principales questions qui guident les études portant sur le vieillissement sont « Y-a-t-il un déclin lié à l'âge ? Quelle est l'ampleur de ce déclin ? Quand débute-t-il ? ». Pour répondre à ces questions, les chercheurs qui étudient le vieillissement souhaitent, la plupart du temps, explorer les effets *maturationnels* et non les effets *générationnels*. Les effets maturationnels correspondent à ce que l'on pourrait appeler les effets « purs » de l'âge sur le fonctionnement cognitif. Ces effets « purs » de l'âge sont liés au vieillissement cérébral normal en dehors de toute considération d'appartenance à une génération. Les effets générationnels quant à eux correspondent aux différences d'âge liées au contexte historique (ex. : guerre) ou aux situations sociales auxquelles nous avons été exposés. L'effet Flynn (Flynn, 1984), qui réfère au fait que le quotient intellectuel augmente avec l'avancée d'une génération à une autre, en est un exemple éloquent. Ainsi, l'exposition à des situations favorables, par exemple un accès facilité à l'éducation, aux services de santé et à une bonne alimentation en bas âge peut influencer sur le fonctionnement cognitif et amener des différences entre plusieurs générations. De nombreuses confusions existent entre les effets maturationnels et générationnels dans le domaine du vieillissement cognitif. Ces confusions sont liées au choix du plan expérimental et aux termes utilisés de façon parfois erronée, pour exprimer les effets observés. Ainsi, les *différences* liées à l'âge rapportées dans de nombreuses études n'équivalent pas à des *changements* liés à l'âge. Le terme de changement désigne le « fait de quitter un état pour un autre. État de ce qui évolue, se modifie » (Le Robert, 2013, p.115). Un changement implique donc la comparaison d'un individu avec lui-même, il s'observe lors de comparaisons intra-individuelles et reflète ainsi l'effet maturational. Il s'agit par exemple de comparer un individu de 65 avec lui-même 5 ans plus tard. Le terme de différence désigne le « caractère ou ensemble de caractères qui distingue une chose d'une autre, un être d'un autre » (Le Robert, 2013, p.207). Une différence implique donc de comparer des individus distincts, elle s'observe lors de comparaisons interindividuelles et peut ainsi confondre les effets maturational (liés à l'âge) et générationnels (liés à la génération). Après ces considérations étymologiques, il paraît important de faire un point méthodologique sur les différents types de plans expérimentaux

utilisés dans les études sur le vieillissement et les potentiels biais d'interprétation qui y sont associés.

1.1.2. Les différents plans expérimentaux

1.1.2.1. Études transversales

Les études transversales sont largement utilisées dans le domaine du vieillissement car ce type de plan est pratique, facile à mettre en œuvre et économique. Les plans transversaux comparent des groupes d'âge indépendants à un temps T. Dans la plupart des cas, sont comparés des jeunes étudiants dans la vingtaine à des personnes âgées de 65 ans et plus. Les résultats d'études transversales permettent d'observer des différences liées à l'âge. A partir de ces différences, les auteurs infèrent qu'ils reflètent des changements liés à l'âge (effets maturationnels). Cependant, prétendre que la comparaison de différents groupes d'âge est similaire à ce qu'on observerait si on évaluait directement les changements maturationnels nécessite un ensemble d'a priori très stricts voire irréalistes. En effet, pour inférer des changements liés à l'âge à partir de différences entre groupes d'âge on assume que l'environnement est parfaitement stable dans le temps. Par exemple on postule que les conditions historiques, sociales, l'accès à l'éducation, aux soins médicaux sont identiques pour la génération née en 1950 et celle née en 1990. On assume également qu'il n'y a pas de différences de performances entre les différentes générations (Hofer, Sliwinski, & Flaherty, 2002; Schaie, 2009), par exemple que la génération née en 1950 aurait le même niveau intellectuel ou les mêmes connaissances sémantiques que la génération née en 1990. Or ces conditions ne sont pas toujours (et même rarement) rencontrées et quand elles ne le sont pas, l'utilisation d'un plan transversal peut entraîner une confusion entre des effets réellement liés à l'âge (maturationnels) et des effets générationnels. Ainsi, des effets liés au vieillissement peuvent se confondre avec les effets liés à la fréquence d'exposition à l'éducation, au contexte social favorable ou défavorable, etc. Par exemple, lorsqu'on examine les différences entre un groupe de personnes de 20 ans et un groupe de personnes de 65 ans en 2016, il est fort probable que le groupe de personnes de 65 ans n'ait pas été exposé à la même facilité d'accès à la scolarité, aux soins médicaux, aux technologies ou n'ait pas eu les mêmes expériences sociales que le groupe de 20 ans, ce qui peut induire des différences cognitives qui ne sont pas

purement liées à l'âge mais à la génération. Les différences d'âge mises en exergue par le plan transversal ne seraient donc pas seulement expliquées par un effet de vieillissement mais par des différences liées à des facteurs sociodémographiques tels que l'accès à l'éducation, les ressources culturelles, sociales, etc.

Plusieurs auteurs se sont intéressés empiriquement à l'impact de l'effet générationnel sur le fonctionnement cognitif. Par exemple, Schaie et ses équipes (Gerstorff, Ram, Hoppman, Willis, & Schaie, 2011; Schaie, Caskie, Revell, Willis, Kaszniak, & Teri, 2005) ont examiné les différences liées à la génération pour diverses tâches cognitives. Treize cohortes (ou générations) ont été évaluées tous les 7 ans entre 1956 et 1998. Afin d'étudier les effets générationnels, les auteurs ont comparé les performances de personnes de même âge mais nées à des moments différents. Par exemple, ils ont comparé les performances de personnes âgées de 50 ans nées en 1903 aux performances de personnes de 50 ans nées en 1945. Ainsi, les différences observées entre ces deux groupes reflétaient des effets générationnels et non maturationnels. Leurs résultats ont mis en évidence de meilleures performances de raisonnement inductif, de mémoire verbale et de vitesse de traitement pour les nouvelles générations. Ainsi, cet effet générationnel, qui semble davantage favoriser les générations nouvelles, pourrait mener à des interprétations erronées. Plus précisément, cela pourrait se traduire par une surestimation des effets prétendument liés à l'âge. Notons toutefois que la supériorité des générations nouvelles par rapport aux anciennes démontrée notamment par Flynn (1984) est questionnée pour certains domaines cognitifs. Par exemple, Schaie et collaborateurs (2004; 2005) observent que la supériorité des générations récentes est plus nuancée pour les habiletés verbales et ils notent même une tendance à la régression pour les habiletés numériques. D'autres auteurs (Alwin, 1991; Glenn, 1994) ont mis en évidence un déclin à un test verbal des générations nées après la Seconde Guerre mondiale par rapport à celles nées avant. Ainsi, de manière peut être contre-intuitive, il semble que les effets générationnels ne soient pas toujours au bénéfice des générations les plus récentes. Dans le cas où les générations les plus anciennes seraient favorisées par rapport aux générations les plus récentes, l'utilisation de plans transversaux pourrait donc mener à une sous-estimation des effets prétendument liés à l'âge. Où que soit situé le bénéfice de l'effet générationnel, ces études illustrent de manière empirique, l'impact de cet effet sur le fonctionnement cognitif et

les biais d'interprétation que cela peut engendrer. Un autre élément intéressant de ces études est de montrer que des effets générationnels peuvent survenir dans des comparaisons de groupes même s'ils sont relativement proches. En effet, des changements sociaux peuvent être abrupts (ex. : guerre, crise économique, la Révolution tranquille, révolution informatique) et faire en sorte que deux groupes d'individus soient associés à des circonstances de vie très contrastées même si leur différence d'âge est relativement faible.

1.1.2.2. Études longitudinales

Le plan longitudinal de son côté permet de comparer le fonctionnement cognitif d'une même personne à des intervalles de temps différents. C'est une comparaison intra-individuelle. Ce type de plan permet d'observer des changements liés à l'âge plutôt que des différences d'âge comme c'est le cas avec l'utilisation du plan transversal. Parce qu'il nécessite un suivi sur plusieurs années, le devis longitudinal est plus ardu sur le plan méthodologique et plus coûteux à mettre en place que le plan transversal mais il permet aussi un recueil d'informations plus riche que ce dernier. Hofer et Sliwinski (2001) arguent que l'avancée en âge est un processus intra-individuel, faisant de ce type de plan un devis de choix pour l'étude du vieillissement. Cependant, l'adoption d'un plan longitudinal n'est pas dénuée de biais. Par exemple, les effets test-retest ou l'attrition sélective peuvent réduire la capacité à détecter des changements liés à l'âge. L'effet test-retest dépend de l'intervalle entre les temps de mesure ; si l'intervalle est trop court, les participants pourraient présenter un effet d'apprentissage. Ainsi les performances au deuxième temps de mesure seraient surestimées et ne reflèteraient pas leurs réelles capacités. L'attrition réfère à la perte de participants entre plusieurs temps de mesures. Il s'agit d'un problème particulièrement important, inhérent aux études longitudinales. Afin d'en estimer l'impact sur les données, il est important de savoir si l'attrition est sélective ou si elle survient au hasard. Lorsqu'elle est sélective, l'attrition peut entraîner des biais dans l'interprétation des changements intra-individuels. Radler et Ryff (2010) ont examiné les caractéristiques des participants qui sont les plus susceptibles de poursuivre les études longitudinales. Ils indiquent que l'éducation a un effet sur la rétention des participants lors des suivis longitudinaux ; plus on est éduqué et plus on a tendance à poursuivre les évaluations. Ils observent également que chez les personnes âgées, celles qui

poursuivent les études longitudinales sont celles qui présentent une meilleure santé objective et subjective. Enfin, ils relèvent que le taux de rétention augmente avec l'âge et que le phénomène d'attrition semble plus marqué chez les jeunes que chez les âgés. Salthouse (2014) indique également que les personnes qui ont tendance à abandonner sont celles qui présentent de moins bonnes performances cognitives. Tous ces éléments pourraient avoir un impact sur les données. Par exemple, si le fonctionnement cognitif est meilleur chez les personnes qui poursuivent les évaluations que chez celles qui ne reviennent pas, il y a un risque que les changements intra-individuels observés soient sous-estimés par rapport à la population générale. Comme mentionné plus haut, l'effet d'apprentissage lié au test-retest pourrait également influencer les résultats en surestimant les réelles capacités des participants au Temps 2 et en ne reflétant donc pas le réel effet maturationnel. Dans ce cas, les résultats seraient le reflet d'une confusion entre les changements liés à l'âge et un effet d'apprentissage. Ainsi, le plan longitudinal est également sujet aux biais et il est important d'en tenir compte.

1.1.3. Comparaison des résultats transversaux et longitudinaux

Plusieurs auteurs se sont intéressés empiriquement aux différences entre les résultats transversaux et longitudinaux. Pour cela ils ont comparé les effets observés sur le plan transversal et longitudinal chez un même groupe de participants (Gerstorff, et al., 2011; Nilsson, Sternang, Rönnlund, & Nyberg, 2009; Schaie & Hertzog, 1996). Cette technique consiste à évaluer à intervalles réguliers plusieurs cohortes (ou générations) de participants avec cette particularité d'ajouter des individus à chaque nouvelle évaluation. Par exemple, si des personnes de 20 ans sont évaluées en 1950 puis tous les 10 ans, il sera nécessaire d'ajouter des personnes de 20 ans en 1960 puisque celles qui avaient 20 en 1950 en auront alors 30. Cette technique permet de comparer les individus à la fois de manière transversale (plusieurs cohortes en 1950) et longitudinale (les mêmes cohortes tous les 10 ans). De manière générale, ces auteurs ont observé que le plan transversal menait à une surestimation des effets de l'âge comparé au plan longitudinal. Cette surestimation des effets de l'âge viendrait d'effets générationnels défavorables aux générations plus anciennes qui s'ajouteraient aux effets maturationnels. Par exemple, dans une étude d'envergure qu'est la Seattle Longitudinal Study (SLS), Schaie et Strother (1968) ont rapporté le suivi longitudinal sur 7 ans mené auprès de

500 participants âgés de 20 à 70 ans qu'ils ont séparés en groupes de 5 ans d'intervalle (ex. : groupe de 25 ans, groupe de 30 ans, etc.). Sept ans plus tard, 302 individus sur les 500 de départ ont participé au deuxième temps de mesure. Les analyses transversales ont révélé des effets prétendument liés à l'âge plus importants que ceux observés dans les analyses longitudinales pour la plupart des fonctions cognitives évaluées. Les auteurs ont alors interprété les résultats transversaux comme étant le reflet d'une combinaison entre un effet maturationnel et générationnel qui ne se retrouve pas lorsqu'on observe les résultats longitudinaux. L'addition des effets maturationnels et générationnels mènerait donc à une surestimation des effets prétendument liés à l'âge lors d'analyses transversales. Toutefois, notons que les effets générationnels ne bénéficient pas toujours aux générations les plus récentes. Comme mentionné plus haut, plusieurs auteurs ont mis en évidence une supériorité modérée voire déclinante des générations récentes pour les habiletés verbales et numériques (Alwin, 1991; Glenn, 1994, Schaie et al., 2005). Par exemple, les résultats obtenus par Schaie et Strother (1968) indiquaient une supériorité de l'effet d'âge en longitudinal par rapport aux résultats transversaux pour une épreuve de fluence verbale. Les auteurs ont suggéré que ce profil de résultat puisse refléter la possibilité que les générations les plus anciennes soient avantagées dans certains domaines cognitifs. Cet avantage des générations les plus anciennes pourrait entraîner une sous-estimation des effets prétendument liés à l'âge dans les études transversales par rapport aux longitudinales et donc expliquer la supériorité des résultats longitudinaux observée par les auteurs. Les études longitudinales comparant les individus de manière intra-individuelle seraient donc plus à même de refléter les effets maturationnels afin d'éviter les potentielles surestimations ou sous-estimations liées à l'utilisation de plans transversaux. Au vu de ces considérations, nous avons choisi d'utiliser un plan longitudinal pour examiner les changements liés à l'âge sur la MDT et les FCA.

1.2. Mémoire de travail

1.2.1. Définition

La MDT se définit comme un système de capacité limitée permettant à la fois un maintien temporaire et une manipulation d'informations (Baddeley, 1992; Baddeley & Hitch, 1974) nécessaires à la réalisation de tâches cognitives complexes. Elle est impliquée dans de nombreuses habiletés cognitives telles que le raisonnement (Kyllonen & Christal, 1990; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002), la compréhension de lecture (Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merickle, 1996), l'apprentissage d'une nouvelle langue (Baddeley, 1998; Kemper, Herman, & Liu, 2004) ou la résolution de problèmes mathématiques (Logie, Gilhooly, & Wynn, 1994). De très nombreuses études ont également rapporté une forte corrélation entre la MDT et l'intelligence (Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Hockey & Geffen, 2004; Kane, Hambrick, & Conway, 2005; Oberauer, Schulze, Wilhelm, & Süß, 2005; Unsworth et Engle, 2005). La MDT est donc une composante complexe et cruciale du fonctionnement cognitif. D'ailleurs de nombreux auteurs se sont intéressés à décrire cette fonction tant structurellement que fonctionnellement.

1.2.2. Modélisation de la mémoire de travail

Dans les années 1970, Atkinson et Shiffrin (1968; 1971) ont proposé un modèle sériel de mémoire à court terme, très influent à l'époque, composé de registres sensoriels, d'un registre à court terme et à long terme. Ce modèle est cependant remis en question par plusieurs observations cliniques (notamment le patient K.F. de Shallice & Warrington, 1970) et le concept de mémoire à court terme va finalement évoluer vers une architecture à la fois plus complexe et dynamique : la MDT. Dès 1974, Baddeley et Hitch proposent un modèle de MDT, considéré aujourd'hui encore, comme une référence. Selon eux, la MDT se compose de plusieurs sous systèmes dont deux dits esclaves : la boucle phonologique, qui permet un maintien d'informations verbales par autorépétition et le calepin visuo-spatial, qui est en charge du maintien de stimuli visuo-spatiaux. En 2000, Baddeley propose l'existence d'un troisième système esclave : le buffer épisodique qui est capable de stocker temporairement des informations multimodales. Le rôle des systèmes esclaves est de stocker temporairement des

informations sans les manipuler. Leur évaluation se fait donc à l'aide de tâches dites simples, impliquant un maintien temporaire en mémoire (ex. : empan de chiffres à l'endroit). Baddeley propose également l'existence d'un sous système central : l'administrateur central. Il a pour rôle de superviser et coordonner l'information en provenance des systèmes esclaves et de contrôler l'attention afin de permettre un comportement cohérent et ajusté. Différentes tâches complexes ont été proposées pour l'évaluer dont la plupart impliquent soit un contrôle attentionnel, soit le stockage et la manipulation de l'information. Le modèle de « processus emboîtés » de Cowan (1999; 2005) ne décrit pas la MDT de manière structurelle mais fonctionnelle. Lors de l'accomplissement d'une tâche, les informations nécessaires à la réalisation de la tâche et accessibles à la conscience sont activées et maintenues dans le « focus attentionnel » soit par l'administrateur central soit de manière automatique par la présence de stimuli externes. De leur côté, Engle, Kane et Tuholski (1999; Engle & Kane, 2004) proposent un modèle « d'attention contrôlée ». Celui-ci postule que la MDT comporterait un processus de maintien général et des processus de maintien spécifiques. S'appuyant sur un mécanisme d'attention général, l'administrateur central activerait et maintiendrait les informations à mémoriser en mémoire à court terme. L'administrateur central aurait également pour rôle d'inhiber les distracteurs responsables du déclin de la trace mnésique. Selon ce modèle, le maintien de l'activation des informations à mémoriser se ferait également grâce à des stratégies et des mécanismes spécifiques : phonologiques, visuels, spatiaux, moteurs, etc. Dans ce modèle, la capacité de MDT renvoie à la capacité de contrôler et de soutenir son attention face aux interférences et dans l'objectif de réaliser une tâche.

Bien qu'ils diffèrent à certains égards, la plupart des modèles présentés ci-dessus, proposent la présence d'une composante centrale qui permet le contrôle de l'attention. Les modèles plus récents ont proposé un fractionnement de cette composante de contrôle en processus attentionnels/exécutifs différenciés. Notons que les concepts d'administrateur central de la MDT, de contrôle attentionnel et de fonctions exécutives sont très proches. Dans cette thèse le terme de MDT complexe sera utilisé pour rendre compte de l'administrateur central (ou son équivalent) et le terme de FCA sera utilisé pour refléter les processus attentionnels/exécutifs.

1.2.3. Fractionnement de l'administrateur central

L'administrateur central du modèle de Baddeley et Hitch (1974) était conceptualisé initialement comme une fonction et une structure unitaires. Cependant, très tôt, Baddeley (1986) fait un rapprochement entre l'administrateur central de son modèle et le fonctionnement attentionnel. En effet il émet l'hypothèse d'un fractionnement de l'administrateur central et le compare au « système attentionnel superviseur » (SAS) du modèle de Norman et Shallice (1986; Shallice, 1988). Pour rappel le SAS permet de faire face à des situations nouvelles ou complexes en utilisant nos connaissances antérieures, en élaborant des stratégies par la planification d'actions et l'inhibition de réponses non pertinentes. Plus précisément, Baddeley (1993; 2000; 2001; 2002; 2007) décrit diverses fonctions de l'administrateur central : une fonction dite de contrôle attentionnel qui permettrait d'orienter les ressources attentionnelles vers une tâche puis vers une autre en alternance, une fonction de maintien et de manipulation impliquant donc une habileté de mise à jour et la planification basée sur les objectifs actuels et ceux à atteindre renvoyant ainsi à la notion d'inhibition.

1.2.4. Modèle de contrôle attentionnel de Miyake et collaborateurs

En 2000, une étude majeure est venue enrichir le modèle de la MDT de Baddeley. L'objectif principal de Miyake et collaborateurs (2000) était de développer une théorie afin de préciser l'organisation et le rôle des FCA dans la cognition complexe. Pour cela, les auteurs ont sélectionné trois FCA : l'inhibition, l'alternance et la mise à jour. L'inhibition est la capacité à orienter et à maintenir son attention sur un stimulus tout en ignorant, de manière volontaire, les stimuli externes prédominants qui sont non pertinents pour la tâche en cours (Hasher & Zacks, 1988). L'alternance est la capacité de passer d'une tâche à une autre ou d'un élément à un autre au sein d'une même tâche (Monsell, 1996). Enfin, la mise à jour correspond à la capacité de réviser les items stockés en MDT afin de les remplacer par de nouveaux items devenus pertinents (De Beni & Palladino, 2004). Notons que les auteurs indiquent qu'il existe probablement d'autres FCA non sélectionnées dans leur modèle. Toutefois, plusieurs raisons les incitaient à s'intéresser à ces trois FCA. Premièrement, l'inhibition, l'alternance et la mise à jour sont souvent rapportées dans la littérature comme

des fonctions exécutives importantes (Baddeley, 1996; Rabbitt, 1997; Smith & Jonides, 1999). Ensuite, ce sont des fonctions de relativement bas niveau (contrairement à la notion de planification par exemple) et elles peuvent donc être définies de manière assez précise. De plus, il existe de nombreuses tâches relativement simples permettant leur évaluation. Enfin, elles paraissent impliquées dans plusieurs des tâches exécutives complexes fréquemment utilisées en neuropsychologie (par exemple le Wisconsin Card Sorting Test – WCST) et les auteurs rapportent qu’une bonne compréhension de ces trois fonctions de base pourrait permettre de spécifier ce qu’évaluent réellement les tâches exécutives complexes.

Dans leur étude menée auprès de jeunes étudiants universitaires, Miyake et collaborateurs (2000) ont utilisé trois tâches pour mesurer chaque FCA. Ils ont utilisé une série d’analyses factorielles confirmatoires, comparant des modèles à un, deux ou trois facteurs. Les analyses ont révélé que le modèle le plus concluant était celui qui prévoyait la présence et l’indépendance des trois FCA. Ce résultat suggère une relative *diversité* des FCA. Les auteurs ont également conduit une analyse de variables latentes qui permet de minimiser l’effet d’impureté (souvent lié à l’évaluation des fonctions exécutives) en regroupant sous une même variable ce qu’il y a de commun aux différentes tâches choisies (Speth & Ivanoiu, 2007). Les variables latentes obtenues correspondaient aux trois FCA préalablement déterminées – inhibition, alternance et mise à jour – et corrélaient modérément, suggérant ainsi une relative *unité* des FCA. Cette unité (corrélation modérée) et diversité (indépendance des trois FCA) du fonctionnement exécutif a été confirmée ensuite par des études comportementales (Fisk & Sharp, 2004; Miyake & Friedman, 2012; Sylvain-Roy et collaborateurs, 2015a) et en neuroimagerie. Par exemple, Collette et collaborateurs, à l’aide des mêmes tâches que Miyake et son équipe (2000) ont mis en évidence que les trois FCA activaient des régions cérébrales communes mais également des régions spécifiques à chacune d’elles (voir Collette, 2004). Plusieurs auteurs ont examiné comment ces fonctions contribuaient à des tâches exécutives ou de MDT complexe. Par exemple Miyake et collaborateurs (2000) ainsi que Fisk et Sharp (2004) ont mis en évidence que les habiletés d’alternance contribuaient particulièrement à la tâche de WCST alors que l’inhibition contribuait davantage à des tâches telles que la Tour de Hanoï et les habiletés de mise à jour à des tâches telles que l’empan d’opération ou de lecture. De leur côté, Sylvain-Roy et al., (2015a) ont examiné la contribution des FCA spécifiquement

aux tâches complexes de MDT. Ils ont mis en évidence que les trois FCA contribuaient différemment à diverses tâches complexes de MDT. Les auteurs ont utilisé trois tâches complexes de MDT qui impliquent le maintien temporaire de l'information en mémoire associé, soit à un contrôle attentionnel, soit à une manipulation de l'information. La tâche d'empan de phrases implique de juger de la plausibilité sémantique de phrases présentées visuellement tout en mémorisant le dernier mot de chacune d'elle (De Ribaupierre & Ludwig, 2003), la tâche de Brown-Peterson implique de mémoriser une suite de lettre malgré une interférence durant laquelle les participants sont amenés à effectuer des opérations simples (Belleville, Peretz, & Malenfant, 1996), enfin l'empan alphabétique implique un stockage de mots et leur rappel en ordre alphabétique (Belleville, Rouleau, & Caza, 1998; Craik, 1986). L'équipe de Sylvain-Roy (2015a) a montré que chez des personnes âgées, les performances à la tâche d'empan de phrases et au paradigme de Brown-Peterson étaient davantage prédites par les habiletés de mise à jour alors que les performances à l'empan alphabétique étaient mieux expliquées par les capacités d'inhibition. De plus, l'ampleur de la capacité de stockage était plus importante pour l'empan de phrases que pour le paradigme de Brown-Peterson ou l'empan alphabétique. Ces données suggèrent que ces trois tâches reflètent différents aspects de la MDT complexe.

Ainsi, Miyake et collaborateurs (2000) ont confirmé l'existence de trois FCA relativement indépendantes au sein de la MDT. Ce modèle de fractionnement de l'administrateur central est aujourd'hui largement utilisé et relativement consensuel. Une organisation tripartite similaire de la MDT complexe (ou administrateur central) a d'ailleurs été rapportée chez des personnes âgées (Fisk & Sharp, 2004; Sylvain-Roy et al., 2015a). Comme mentionné plus haut, la MDT complexe est une fonction cruciale du fonctionnement cognitif, impliquée dans de nombreuses activités complexes de la vie quotidienne et participant au maintien de l'autonomie. Il est donc important d'examiner comment le vieillissement normal agit sur les tâches complexes de MDT et sur les FCA qui les soutiennent. Dans la prochaine partie, nous ferons un état des lieux des études ayant porté sur les effets du vieillissement sur les tâches complexes de MDT et sur les FCA.

1.3. Vieillessement normal, mémoire de travail et fonctions de contrôle attentionnel

1.3.1. Effets du vieillissement normal sur la mémoire de travail

Plusieurs auteurs indiquent que l'avancée en âge s'accompagne d'une atteinte de la MDT complexe (Baddeley, 1986; Collette et al., 2007; Philips & Hamilton, 2001). Par exemple, Meguro et collaborateurs (2000) ont évalué les performances d'un groupe de jeunes adultes (moyenne d'âge : 28,8 ans), d'adultes (moyenne d'âge : 49,4 ans) et de personnes âgées (moyenne d'âge : 68,8 ans) à une tâche d'empan de phrases. Dans cette tâche, les participants voient apparaître des séries plus ou moins longues de phrases et ils doivent mémoriser le dernier mot de chaque phrase tout en jugeant de leur plausibilité sémantique. Les auteurs ont mis en évidence une différence significative entre les plus âgés et les jeunes, au profit de ces derniers (voir aussi Bopp & Verhaeghen, 2005). En revanche, peu voire aucun effet d'âge n'a été mis en évidence pour d'autres tâches telles que l'empan alphabétique (Belleville et al., 1998; Lamar, Zonderman, & Resnick, 2002) ou le paradigme de Brown-Peterson (Belleville et al., 1996; Bherer, Belleville, & Peretz, 2001). Dans la tâche d'empan alphabétique, les participants doivent rappeler une série de mots dans l'ordre alphabétique plutôt que dans l'ordre de présentation (Craik, 1986). Lors du paradigme de Brown-Peterson, on demande aux participants de maintenir en mémoire un petit nombre d'items pendant qu'ils réalisent une tâche interférente. Notons que ces études ne s'intéressent qu'à une seule tâche complexe de MDT à la fois, ce qui ne permet pas de comparer les effets d'âge sur chacune d'elle et d'obtenir une vue d'ensemble de l'impact du vieillissement normal sur la MDT. Une exception à cela, l'étude transversale de Sylvain-Roy et collaborateurs (2015a) a comparé les performances de jeunes adultes (moyenne d'âge : 23,7 ans) à celles de personnes âgées (moyenne d'âge : 70,9 ans) aux trois tâches complexes de MDT utilisées par Miyake et ses collègues (2000). Les résultats ont mis en évidence un effet d'âge à la tâche d'empan de phrases et de Brown-Peterson mais aucun effet d'âge n'a été relevé pour la tâche d'empan alphabétique.

A notre connaissance, très peu d'études longitudinales ont porté sur la MDT et le vieillissement. Cependant, une étude particulièrement importante est la Victoria Longitudinal

Study (VLS). En 1992, Hultsch, Hertzog, Small, McDonald-Miszczak et Dixon, ont suivi deux groupes de personnes âgées sur 3 ans. Les auteurs ont réparti leurs deux groupes comme suit : les « jeunes-âgés » étaient âgés de 65 ans en moyenne au Temps 1 et les « âgés-âgés » étaient âgés de 75 ans en moyenne. Les participants ont été évalués deux fois à l'aide de treize mesures cognitives. Les résultats concernant la MDT verbale ont indiqué un déclin plus prononcé chez les âgés-âgés que chez les jeunes-âgés. L'épreuve de MDT utilisée est relativement comparable à l'empan de phrases, il s'agissait de lire des phrases (sans juger de leur plausibilité sémantique comme c'est le cas dans la tâche d'empan de phrases) et de retenir un mot souligné de chaque phrase. A la fin, l'ensemble des mots retenus formait une nouvelle phrase (ce qui n'est pas le cas dans la tâche d'empan de phrases). Avec seulement 3 ans de suivi, cette étude affirme l'importance d'étudier les changements cognitifs dans le vieillissement à partir de différents groupes d'âges. Dans une étude de 2003, Singer, Verhaeghen, Ghisletta, Lindenberger et Baltes ont proposé d'évaluer le déclin dans quatre domaines de la cognition chez des personnes âgées : la vitesse perceptive, la mémoire épisodique, les connaissances générales et les fluences verbales. Notons que de nombreux auteurs suggèrent que les fluences verbales reflètent des capacités de MDT (Henry & Crawford, 2004; Rende, Ramsberger, & Miyake, 2002), d'inhibition (voir Hirshorn & Thompson-Schill, 2006), d'alternance (Abwender, Swan, Bowerman, & Connolly, 2001) et de mise à jour (Shao, Janse, Visser & Meyer, 2014). Les participants de Singer et collaborateurs (2003) ont été recrutés dans la cohorte de la Berlin Age Study et ont été évalués quatre fois en 6 ans. Les auteurs ont réparti leurs 516 participants de départ en deux groupes d'âge : les « âgés » (70-77 ans au Temps 1) et les « âgés-âgés » (78-100 ans au Temps 1). Les résultats mettaient en évidence un déclin plus important du groupe âgés-âgés par rapport aux âgés pour les quatre domaines évalués. Malgré un manque de données concernant les personnes âgées de moins de 70 ans, cette étude supporte également l'idée d'une accélération du déclin cognitif.

En résumé, un certain consensus semble se dégager concernant un effet d'âge sur l'empan de phrases. En revanche, les résultats sont plus divergents concernant le Brown-Peterson et l'empan alphabétique. La divergence des résultats transversaux pourrait provenir de l'utilisation même du plan transversal mais aussi de l'âge des participants dans les études. En effet, les résultats des quelques études longitudinales dans ce domaine témoignent de la

pertinence de considérer la population âgée comme appartenant à des groupes différents. En particulier, les études suggèrent que les effets de l'âge sur la cognition pourraient s'accélérer autour 70 ans, ce qui demeure toutefois à préciser. Ce point sera abordé plus en détails ultérieurement (section 1.4.2).

1.3.2. Effets du vieillissement normal sur les fonctions de contrôle attentionnel

Les FCA peuvent être affectées différemment par l'âge compte tenu de leur relative indépendance (Miyake et al., 2000, Sylvain-Roy et al., 2015a). De nombreuses études ont examiné les effets du vieillissement normal sur ces habiletés mais la magnitude, la robustesse et la cohérence des résultats diffèrent selon la fonction évaluée.

L'inhibition. Le terme *inhibition* étant utilisé dans plusieurs contextes, pour décrire diverses fonctions de complexité différente, il paraît important de préciser que l'inhibition qui sera traitée tout au long de ce travail renvoie à l'inhibition contrôlée, volontaire. Les études portant sur les capacités d'inhibition semblent relativement unanimes et indiquent des effets délétères de l'âge. Par exemple, Wecker, Kramer, Wisniewski, Delis et Kaplan (2000) ont proposé le California Stroop Test (CST) à 112 participants, âgés de 20 à 79 ans. Le CST permet d'évaluer la capacité à inhiber volontairement une réponse automatique de lecture. Compte tenu de l'étendue d'âges et afin d'éviter les biais d'interprétation lié au ralentissement cognitif, les auteurs ont contrôlé la vitesse de traitement. Les résultats ont mis en évidence un effet de l'âge à la condition d'interférence du CST, c'est à dire que l'avancée en âge était associée à une diminution des capacités d'inhibition volontaire. De leur côté, Sweeney, Rosano, Berman et Luna (2001) se sont intéressés au versant moteur de l'inhibition. Ils ont ainsi évalué et comparé les capacités d'inhibition motrice de 28 personnes âgées de 18 à 34 ans à 20 personnes âgées de 65 à 80 ans, avec une tâche d'antisaccade. Dans cette tâche, les participants devaient s'abstenir de regarder en direction d'un indice visuel et orienter leur regard vers une cible (une flèche) située de l'autre côté de l'indice. Leur tâche était d'indiquer si la flèche pointait vers le haut ou vers le bas. Outre les temps de réaction qui étaient plus longs chez les âgés que chez les jeunes par rapport à une tâche contrôle de simple détection visuelle, les mesures en électro-oculographie ont montré que le groupe âgé avait échoué proportionnellement plus que les jeunes à inhiber cette saccade oculaire vers un distracteur. De

nombreuses autres études sont venues corroborer ces données (Belleville, Rouleau, & Van der Linden, 2006; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003; Sylvain-Roy et al., 2015a). Ainsi, l'inhibition semble particulièrement sensible aux effets du vieillissement normal. Hasher et ses collaborateurs (Hasher, Lustig, & Zacks, 2007; Hasher & Zacks, 1988; Hasher, Zacks, & May, 1999) ont d'ailleurs proposé que l'inhibition serait une des fonctions les plus précocement altérée par le vieillissement normal, ce qui engendrerait des déficits cognitifs plus complexes, par répercussion.

L'alternance. La littérature examinant les effets de l'âge sur l'alternance est plus nuancée selon que les études s'intéressent à l'alternance globale ou locale. L'alternance globale s'observe lors de tâches qui impliquent des essais non alternés dans une condition dite pure (une condition dans laquelle on réalise une seule tâche) et des essais alternés dans une condition mixte (une condition dans laquelle on réalise deux tâches différentes en alternance). Le cout d'alternance global reflète la capacité à maintenir plusieurs tâches en MDT. Une tâche typique d'alternance globale est celle de Jersild (1927) dans laquelle le participant doit réaliser un bloc d'additions, un bloc de soustractions et un bloc d'additions et de soustractions alternées. Il s'agit ensuite de comparer les temps de réaction pour les blocs purs, c'est dire la série d'additions et la série de soustractions, au temps de réaction pour le bloc mixte dans lequel les participants alternent additions et soustractions à chaque essai. L'alternance locale s'observe lors de tâches qui impliquent des essais alternés et non alternés au sein d'un même bloc dit « mixte » (Wasylyshyn, Verhaeghen, & Sliwinski, 2011). Le cout d'alternance locale reflète la capacité à se désengager de la précédente tâche et à s'engager dans la tâche en cours. La tâche d'alternance chiffre-lettre de Rogers et Monsell (1995) est une mesure classique d'alternance locale. Dans cette tâche, les participants voient apparaître une paire chiffre-lettre (ex. : 8A) sur un écran et ils doivent porter attention au chiffre ou à la lettre dépendamment de leur position dans l'écran. A l'intérieur d'un même bloc, certains essais nécessitent une alternance, d'autres pas. Le temps de réaction aux essais non alternés sera comparé au temps de réaction pour les essais alternés. En 2011, une méta-analyse incluant 26 études et comparant 36 groupes indépendants de jeunes à des personnes âgées de plus de 60 ans a montré que les tâches impliquant l'alternance globale étaient particulièrement échouées par les personnes âgées (Wasylyshyn, Verhaeghen, & Sliwinski, 2011). Concernant l'alternance

locale, les auteurs mettent en évidence de nombreuses divergences entre les études. Alors que certaines d'entre elles n'observent pas d'effet d'âge pour des mesures d'alternance locale (Kray, Eppinger, & Mecklinger, 2005; Reimers & Maylor, 2005), d'autres rapportent un effet négatif du vieillissement (Kray, Li, & Lindenberger, 2002; Meiran, Gotler, & Perlman, 2001).

La mise à jour. Enfin, très peu d'études ont porté sur les capacités de mise à jour et les effets du vieillissement normal, de plus, les résultats divergent. Van der Linden, Bédart et Beerten (1994) ont mis en évidence un défaut des capacités de mise à jour chez des personnes âgées (moyenne d'âge : 65,8 ans) par rapport à de jeunes adultes (moyenne d'âge : 22,3 ans) à une tâche de mise à jour de lettres. Dans cette tâche, une série de consonnes défile à l'écran, une à une, et les participants sont invités à rappeler uniquement les quatre dernières lettres. Chaque série peut contenir 6, 8, 10 ou 12 lettres, les participants ne sont pas avertis de la longueur de la série, ce qui les oblige à mettre constamment à jour leur MDT. Les résultats ont indiqué que plus la série est longue, plus les participants éprouvaient de la difficulté à rappeler les quatre dernières lettres et ceci était d'autant plus vrai chez les personnes âgées. Les auteurs ont interprété ce résultat comme une atteinte des capacités de mise à jour chez les personnes âgées puisque l'augmentation de la longueur augmente le nombre de mises à jour devant être réalisées. D'autres études, en revanche, n'ont pas montré d'effet de l'âge sur les capacités de mise à jour (Radvansky, Copeland, Berish, & Dijkstra, 2003; Verhaeghen & Basak, 2005). Par exemple, Sylvain-Roy et collaborateurs (2015a) ont comparé les capacités de mise à jour chez de jeunes adultes (moyenne d'âge : 23,7 ans) et des personnes âgées (moyenne d'âge : 70,9 ans) à l'aide de trois tâches combinées en score composite : mise à jour de lettres, détection de sons et « keep-track ». Après avoir contrôlé pour la vitesse de traitement, les auteurs n'ont observé aucune différence significative entre les jeunes et les âgés, suggérant ainsi que les capacités de mise à jour ne sont pas altérées par le vieillissement.

En résumé, la littérature semble relativement unanime et indique des différences d'âge sur des mesures d'inhibition au profit des jeunes adultes. En revanche, les résultats divergent en ce qui concerne les effets de l'âge sur l'alternance et la mise à jour.

1.3.3. Résumé des résultats et éléments d'explication

En conclusion, un certain consensus se dessine concernant un effet de l'âge sur la tâche d'empan de phrases et sur des mesures d'inhibition au profit des jeunes. Cependant, les résultats des études portant sur d'autres mesures complexes de MDT (paradigme de Brown-Peterson, empan alphabétique) et d'autres FCA (alternance, mise à jour) sont plus divergents. Une des explications à ces divergences pourrait être d'ordre méthodologique ; comme mentionné précédemment le type de plan utilisé peut affecter l'interprétation des résultats. Or, à notre connaissance, aucune étude longitudinale n'a examiné spécifiquement la MDT complexe et les FCA dont nous discutons dans notre travail auprès d'une population âgée. D'autre part, les tâches utilisées dans les études sont différentes mais sont censées évaluer la même composante. Par exemple, Van der Linden et al., (2004) ont utilisé une tâche de mise à jour de lettres alors que Radvansky et al., (2003) ont utilisé une épreuve de mise à jour impliquant la compréhension et Verhaeghen et Basak (2005) une tâche classique de n-back. Or, Collette et ses équipes (voir Collette, 2004) ont mis en évidence que diverses tâches censées évaluer la même composante activaient des régions cérébrales communes mais aussi spécifiques. Ces résultats suggèrent qu'il est possible d'obtenir des résultats divergents selon la tâche qui est utilisée. Cela souligne également l'importance d'adapter nos protocoles de recherche selon que l'on s'intéresse à une composante dans sa globalité – auquel cas un score composite paraît pertinent – ou dans ses aspects complexes. On note également que les groupes âgés varient considérablement sur le plan de l'âge. Certaines études recrutent des participants « âgés » relativement jeunes, par exemple l'étude de Van der Linden et collaborateurs (1994) qui comprend des personnes de 60 à 75 ans. D'autres études portent sur des groupes âgés avec des étendues d'âges plus larges, c'est le cas, par exemple de l'étude de Radvansky et collaborateurs (2003) qui comprend des personnes de 62 à 90 ans. Ainsi, certaines mesures complexes de MDT et des FCA pourraient être atteintes à des moments différents lors du vieillissement et le recours à des groupes formés surtout de « jeunes-âgés » ou d' « âgés-âgés » pourrait modifier les résultats obtenus et les conclusions tirées. Par exemple, les études longitudinales portant sur la MDT mettent en évidence une accélération du déclin cognitif autour de 70 ans. Il est toutefois important de noter que le fonctionnement cognitif associé à l'avancée en âge est marqué par des variabilités individuelles (Sylvain-Roy

& Belleville, 2015b). Ainsi, il est possible que le fonctionnement cognitif ne soit pas modulé exclusivement par l'âge, d'autres facteurs pourraient influencer les changements cognitifs et expliquer les variabilités individuelles visibles au sein du vieillissement.

1.4. Facteurs de protection

1.4.1. Les différences interindividuelles reliées au style de vie cognitif

De nombreuses études mettent en évidence une plus grande variabilité interindividuelle avec l'avancée en âge (Christensen et al., 1994, Christensen et al., 1999; Eustache, Faure, & Desgranges, 2013). Christensen et collaborateurs (1994) précisent que cette variabilité ne s'observe pas de manière équivalente dans tous les domaines de la cognition. Les auteurs indiquent en effet que la variabilité interindividuelle augmente avec l'âge pour des mesures fluides de la cognition (telles que la MDT complexe) alors qu'elle demeure stable pour des mesures cristallisées de la cognition. De plus en plus d'auteurs s'intéressent au style de vie pour expliquer ces différences entre les individus. La théorie co-constructiviste développée par P.B. Baltes et ses collègues (2006; 1999; Li & Freund, 2005) s'inscrit d'ailleurs dans cet ordre de pensée. Cette théorie postule que les habiletés fluides sont davantage contraintes par des facteurs biologiques et déclinent de manière linéaire avec l'avancée en âge alors que les habiletés cristallisées, davantage influencées par des facteurs culturels ont tendance à demeurer stables. Les auteurs postulent également que pour pallier à l'affaiblissement des facteurs biologiques et donc pour maintenir un certain niveau de fonctionnement cognitif, les personnes âgées feraient appel à leur bagage culturel/environnemental. Selon cette théorie, les facteurs culturels pourraient donc permettre de compenser les contraintes imposées par les facteurs biologiques sur des mesures d'habiletés fluides telles que la MDT.

1.4.2. La théorie co-constructiviste

Depuis le début des années 1990, de nombreux auteurs s'accordent à dire que le développement cognitif est régulé par des facteurs biologiques et culturels (voir par exemple Dunham, 1991; Tomasello, 1999). Par la suite, plusieurs théories dites co-constructivistes ont vu le jour et celle développée par P.B. Baltes et ses collaborateurs (2006; 1999; Li & Freund,

2005) est l'une des plus abouties. Cette théorie postule que les habiletés fluides (aussi appelées composante mécanique dans ce modèle) telles que la MDT sont davantage contraintes par des facteurs biologiques. Selon cette théorie, ces habiletés suivraient la même trajectoire que les facteurs biologiques, à savoir elles déclineraient de manière linéaire avec l'avancée en âge. D'un autre côté, les habiletés cristallisées (aussi appelées composante pragmatique) telles que les compétences linguistiques seraient davantage influencées par des facteurs culturels et auraient tendance à demeurer stables jusqu'à un âge très avancé. Si l'on s'arrête à ces considérations, il semble donc que les habiletés fluides telles que la MDT ne puissent pas bénéficier de la protection de facteurs culturels. Cependant, les auteurs de cette théorie postulent aussi que les facteurs biologiques et culturels/environnementaux auraient une relation réciproque tout au long de la vie. Par exemple, Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh et Taub (1995) ont mis en évidence que les aires du cortex somatosensoriel représentant les doigts de la main gauche étaient plus importantes chez des joueurs d'instruments à cordes que chez des individus contrôles. De plus, les auteurs ont mis en évidence une corrélation entre la quantité de réorganisation corticale et l'âge auquel les joueurs avaient commencé leur pratique. Ces résultats témoignent de l'influence entre les facteurs culturels et biologiques. D'autres études sont venues appuyer cette idée de lien entre les facteurs culturels et biologiques (voir par exemple Maguire et al., 2000). P.B. Baltes et son équipe postulent que le lien entre les facteurs culturels et biologiques deviendrait compensatoire avec l'avancée en âge. En effet, pour pallier à l'affaiblissement des facteurs biologiques, qui devient plus marqué avec l'avancée en âge, et pour maintenir un certain niveau de fonctionnement cognitif, les individus âgés s'appuieraient sur les facteurs culturels/environnementaux. Ainsi des facteurs culturels/environnementaux tels que l'accès à la médecine, les ressources financières ou matérielles disponibles mais aussi le style de vie c'est à dire le niveau d'éducation, la pratique d'activités cognitivement stimulantes, permettraient d'équilibrer les pertes cognitives. Cette théorie suggère donc que les facteurs culturels pourraient permettre de protéger et/ou de compenser les contraintes imposées par les facteurs biologiques sur des mesures relativement fluides telles que la MDT. Cependant, ces auteurs indiquent aussi qu'à partir d'un certain âge, que les auteurs situent autour de la septième décennie, l'affaiblissement des facteurs biologiques deviendrait trop important pour pouvoir être compensé par les facteurs culturels. Cette théorie est en accord avec l'hypothèse de la réserve cognitive qui postule que certains

facteurs comme l'éducation ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes permettraient d'augmenter la résilience cognitive. C'est à dire que les individus possédant une bonne réserve cognitive seraient plus apte à recruter de manière efficace et à coordonner des régions cérébrales spécifiques pour faire face aux atteintes cérébrales qu'elles soient d'origine pathologique ou liées au vieillissement normal (Jones, Manly, Glymour, Rentz, Jefferson, & Stern, 2011; Stern, 2009). La théorie co-constructiviste appuie également les résultats d'études qui mettent en évidence une protection de facteurs liés au style de vie (ex. : l'éducation ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes) sur le déclin cognitif d'individus atteints de pathologies neurodégénératives jusqu'à un certain point (Hall et al., 2007; Helzner, Scarmeas, Cosentino, Portet, & Stern, 2007; Wilson et al., 2004). En effet, ces études démontrent que lorsque l'atteinte cérébrale devient trop importante (affaiblissement des facteurs biologiques), les individus ne sont plus capables de compenser (les facteurs culturels ne sont plus protecteurs).

1.4.3. Définition des expériences cognitives

D'abord rappelons que bien que les facteurs de protection les plus fréquemment étudiés et associés au fonctionnement cognitif soient l'éducation, la pratique d'activités cognitivement stimulantes et la profession exercée, d'autres facteurs tels que la pratique d'activités physiques ou le réseau social peuvent aussi avoir un impact positif sur le fonctionnement cognitif. Ces différents facteurs peuvent avoir des effets plus ou moins directs sur le fonctionnement cognitif. Par exemple, plusieurs études mettent en évidence les effets positifs d'un réseau social ou de la pratique d'activités physiques sur la santé psychologique et/ou vasculaire respectivement et indirectement sur le fonctionnement cognitif (Barnes, Yaffe, Satariano, & Tager, 2003; Crooks, Luben, Petitti, Little, & Chiu, 2008; Fillet, Butler, & O'Connell, 2002; Kramer & Erickson, 2007). Il semble que les expériences cognitives aient un effet plus direct sur le fonctionnement cognitif. Par exemple, l'étude de Foubert-Samier et son équipe (2012) a mis en évidence une corrélation positive entre un haut niveau d'éducation chez des personnes saines âgées en moyenne de 76 ans et le volume de matière grise au niveau des lobes temporo-pariétaux, particulièrement à gauche ainsi que le lobe orbitofrontal. Outre l'effet direct ou indirect des facteurs de protection sur le fonctionnement cognitif, à notre connaissance, aucune

étude chez l'humain n'a permis de comparer la magnitude de l'effet des facteurs de protection au sein d'un même échantillon. Cela peut s'expliquer de plusieurs manières, premièrement les études rétrospectives ne peuvent pas être totalement contrôlées et reposent sur la capacité de rappel des participants qui n'est pas toujours précise et deuxièmement, les facteurs liés au style de vie sont souvent interreliées (ex. : les activités physiques peuvent impliquer un contexte social) et peuvent impliquer d'autres facteurs liés au style de vie. On peut imaginer par exemple que des personnes qui pratiquent une activité sportive contrôleront davantage leurs apports nutritionnels que ceux qui ne pratiquent pas d'activités physiques, or les apports nutritionnels peuvent également avoir un impact sur le fonctionnement cognitif. Cracchiolo et collaborateurs (2007) a permis de comparer directement l'effet de la pratique d'activités cognitivement stimulantes, physiques et sociales sur une tâche de MDT chez la souris. Dans cette étude, les auteurs ont étudié et comparé l'effet protecteur de ces trois facteurs de manière indépendante chez des souris transgéniques « Alzheimer » (surexprimant les protéines APP et PS1). Les auteurs ont mis en évidence que les souris ayant bénéficié de la pratique d'activités cognitivement stimulantes obtenaient les mêmes performances que les souris saines à une tâche de MDT. A l'inverse, les souris élevées dans les conditions enrichies en activités physiques et sociales ne bénéficiaient pas d'un effet protecteur. Même s'il s'agit là d'une étude chez l'animal dans un contexte de maladie d'Alzheimer, ces données ainsi que celles de Foubert-Samier et collaborateurs (2012) soutiennent notre intérêt pour l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes. Dans les sections suivantes, nous nous concentrerons donc uniquement sur l'effet des expériences cognitives, c'est à dire de l'éducation et des activités cognitivement stimulantes sur la MDT au sein du vieillissement normal. Au sein des expériences cognitives, le niveau d'éducation formel a été particulièrement étudié d'une part parce qu'il est facile à évaluer (Stern, 2002) et d'autre part, parce qu'il reflète bien les expériences cognitives vécues tôt dans la vie, à savoir dans l'enfance et la période jeune adulte (voir Bastin, Simon, Kurth, Collette, & Salmon, 2013; Le Carret et al., 2003). D'un autre côté, les activités cognitivement stimulantes réfèrent aux activités « dans lesquelles la recherche ou la manipulation d'information est centrale dans la participation à ces activités » (Wilson, Barnes, & Bennett, 2007; p.160).

1.4.4. Caractérisation des expériences cognitives

Les résultats concernant les effets de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur les performances ou le déclin cognitif dans le vieillissement normal sont inconsistants (voir Opdebeeck, Martyr, & Clare, 2016; Valenzuela & Sachdev, 2006). Cette inconsistance provient en premier lieu de la fonction cognitive étudiée mais pourrait également être liée à la manière de caractériser le niveau d'éducation ou le niveau de pratique d'activités cognitivement stimulantes. En effet, « le niveau d'éducation » fait souvent référence au nombre d'années de scolarité complétées et il peut être exprimé de différentes manières : en années mais il peut aussi être catégorisé en plus ou moins de 12 ans ou en bas niveau/haut niveau. Un des problèmes à l'utilisation du nombre d'années d'études seul est que l'intensité et la nature des années d'éducation sont différentes d'un pays à un autre. Par exemple, 12 ans d'études au Canada n'équivalent peut être pas à 12 ans d'études en Haïti où l'accès à l'éducation est plus difficile. Ainsi, dans l'objectif de rendre compte à la fois de la quantité et de la qualité de l'éducation, quelques auteurs proposent de combiner le nombre d'années de scolarité complétées avec un indice de capacités verbales (Bastin et al., 2013; Stern, 2002; Stern, 2009), c'est ce que nous avons choisi d'utiliser dans notre étude. Concernant la pratique d'activités cognitivement stimulantes, certains auteurs s'intéressent à la pratique actuelle d'activités alors que d'autres interrogent sur les activités pratiquées tout au long de la vie. Dans notre étude, nous avons choisi de nous intéresser aux deux dernières années dans la mesure où il nous semble difficile de documenter précisément les activités pratiquées tout au long de la vie avec précision. Le contenu des questionnaires utilisés dans les études est également varié : certaines études incluent par exemple le type d'emploi exercé. Cependant, plusieurs études ont mis en évidence un effet indépendant du statut professionnel sur le fonctionnement cognitif (Foubert-Samier et al., 2012; Mejia, Pineda, Alvarez, & Ardila, 1998). Lorsque ce facteur est inclus dans un questionnaire d'activités cognitivement stimulantes, il semble donc difficile de faire la part entre l'effet du statut professionnel et des activités cognitivement stimulantes. Pour notre étude, nous avons choisi d'utiliser la sous-section « Novel information processing » du questionnaire validé du VLS qui reflète la pratique d'activités intellectuelles/cognitivement stimulantes (Hertzog, Hulstsch, & Dixon, 1999; Hulstsch, Hammer, & Small, 1993; Hulstsch, Hertzog, Small, & Dixon, 1999). Le

questionnaire porte sur la fréquence de la pratique d'activités cognitivement stimulantes non liées à la profession (ex. : jouer à des jeux type Scrabble, donner des conférences publiques ou exercer des activités commerciales telles que des investissements sans que cela ne soit lié à la profession). Notons qu'on ne peut pas complètement exclure la possibilité que des activités sociales soient associées aux activités cognitivement stimulantes explorées dans le questionnaire. Cependant, le questionnaire validé du VLS a été construit à partir d'analyses factorielles confirmatoires et une section « Activités sociales », distincte de la section « Novel information processing », est ressortie de ces analyses. On peut donc conclure que ces deux sections évaluent des domaines bien différents même s'ils ne sont pas exclusifs.

1.5. Effets des expériences cognitives sur la mémoire de travail

1.5.1. Études portant sur la mémoire de travail

Très peu d'études se sont intéressées au lien entre les expériences cognitives (éducation, pratique d'activités cognitivement stimulantes) et le déclin en MDT. Cependant, certains éléments semblent indiquer que l'effet protecteur pourrait différer selon que l'on s'intéresse à l'effet de l'éducation ou l'effet de la pratique d'activités cognitivement stimulantes. Ainsi, à partir d'un échantillon de personnes âgées (55 à 94 ans au Temps 1) de la VLS, Zahodne et collaborateurs (2011) n'ont pas observé d'association entre le nombre d'années d'études complétées et le déclin à un score composite de MDT sur douze ans. Les auteurs rapportent en effet un déclin similaire chez les personnes les plus éduquées et les moins éduquées. En revanche, également dans le cadre de la VLS, Hultsch, Hertzog, Small et Dixon (1999) se sont intéressés aux effets de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur le déclin de la MDT au cours d'un suivi de 6 ans (entre 55 et 86 ans au Temps 1). Les résultats de cette étude ont mis en évidence une relation significative entre le déclin en MDT et la pratique d'activités cognitivement stimulantes suggérant que les individus qui participent à ce type d'activités, sont moins à risque de présenter un déclin, sur six ans, de la MDT. Notons que dans ces deux études, la MDT était évaluée à l'aide d'un score composite combinant plusieurs tâches. Dans l'une d'elles les participants devaient retenir un mot clé dans chaque phrase et l'ensemble des

mots clés constituait une phrase (« sentence construction »), dans une autre tâche les participants devaient écouter des phrases, répondre à des questions simples et mémoriser un mot de chaque phrase (« listening span »), enfin la dernière tâche consistait en la résolution de petits problèmes arithmétiques, les participants devaient également retenir un chiffre de chaque problème (« computation span »). Notons que les deux premières tâches impliquent certaines compétences verbales, comme c'est le cas dans nos tâches d'empan de phrases et d'empan alphabétique. D'ailleurs, « sentence construction » est assez similaire à notre tâche d'empan de phrases. Enfin, « computation span » est assez similaire à notre tâche d'empan alphabétique dans le sens où elle implique un stockage temporaire et une manipulation d'informations. L'équipe de Hulstsch (1999) a ajouté une tâche impliquant moins la compréhension verbale dans laquelle les participants devaient retenir le dernier, l'avant dernier ou l'antépénultième nombre d'une série, ce qui s'apparente à une tâche de n-back. Or, les études utilisant un score composite pour évaluer la MDT ne permettent pas d'examiner si l'éducation ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes a le même effet sur toutes les mesures de MDT. En effet, de nombreuses études suggèrent que les différentes tâches de MDT reflètent divers processus de contrôle attentionnel et reposent sur différentes structures cérébrales (Collette, 2004; Miyake et al., 2000; Sylvain-Roy et al., 2015a), il est donc possible que les facteurs de protection agissent différemment sur chacune d'elles. Compte tenu de la complexité de la MDT, il serait intéressant d'évaluer si les expériences cognitives ont un effet différent sur diverses tâches de MDT.

1.5.2. Interaction entre les facteurs de protection

Plusieurs auteurs mettent en évidence un effet modérateur de l'éducation sur la pratique d'activités cognitivement stimulantes. Par exemple, Lachman, Agrigoroaei, Murphy, et Tun, (2010) ont mis en évidence une interaction entre l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes (lire, écrire, faire des jeux de type Scrabble et assister à des conférences) chez des personnes âgées de 32 à 84 ans pour une tâche de mémoire épisodique. Dans leur étude, les individus moins éduqués amélioreraient davantage leurs performances de mémoire épisodique en pratiquant des activités cognitives après la période d'éducation formelle que les individus les plus éduqués. Ces résultats suggèrent donc que la pratique

d'activités cognitivement stimulantes pourrait compenser un faible niveau d'éducation lorsqu'on s'intéresse aux performances en mémoire épisodique. En revanche, lorsqu'ils examinaient un score composite de fonctionnement exécutif incluant une tâche de MDT (empan envers de chiffres), les auteurs observaient un effet protecteur mais indépendant de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes. Dans une autre étude, portant sur des personnes âgées saines de 70 ans et plus et des personnes âgées du même âge présentant des troubles cognitifs, Lee et Chi (2016) ont rapporté une interaction entre le niveau d'éducation et l'engagement dans des activités de type linguistique uniquement chez les individus présentant des atteintes cognitives. Ainsi, parmi le groupe présentant des atteintes cognitives, les personnes avec un plus haut niveau d'éducation étaient également celles qui bénéficiaient davantage des activités linguistiques lorsqu'on regardait leurs performances cognitives globales (score composite : mémoire, orientation, langage, fonctions exécutives, praxies). Parmi les personnes qui présentaient des troubles cognitifs, les résultats suggéraient un risque de démence plus bas chez celles qui s'engageaient dans des activités cognitives de type linguistique et cet effet était plus important chez les personnes avec une éducation élevée. Ces résultats suggèrent un effet cumulatif de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes chez des personnes présentant des atteintes cognitives. Les auteurs ont également rapporté que chez les participants âgés sains, l'éducation et la pratique d'activités linguistiques avaient un effet protecteur mais indépendant sur les performances cognitives globales. En effet, aucune interaction n'a été mise en évidence entre les deux facteurs. La façon dont ces deux facteurs agissent et interagissent pour protéger ou ralentir les effets du vieillissement sur la cognition et particulièrement sur la MDT reste donc à éclaircir.

1.5.3. L'effet des expériences cognitives selon l'âge

L'effet des expériences cognitives sur le déclin cognitif pourrait varier selon l'âge des individus. La théorie de P.B. Baltes (P.B. Baltes, et al., 2006. P.B. Baltes et al., 1999) suggère en effet que l'âge pourrait moduler l'impact des facteurs de protection sur le fonctionnement cognitif. Selon cette théorie, avec l'avancée en âge, la diminution des facteurs biologiques et donc des habiletés fluides pourrait être compensée par les facteurs culturels. Ainsi, les personnes bénéficiant de ressources culturelles/environnementales pourraient les utiliser pour

prévenir et/ou compenser les pertes liées à l'affaiblissement des facteurs biologiques. Cependant, à partir d'un certain âge que les auteurs situent autour de la septième décennie, l'affaiblissement des facteurs biologiques serait trop important et les facteurs culturels ne suffiraient plus à maintenir un niveau de fonctionnement cognitif adéquat. Cette théorie illustre la constante recherche d'équilibre entre les facteurs biologiques et culturels et suggère que les effets des facteurs de protection pourraient s'observer tôt dans la période du vieillissement ; c'est à dire avant que l'affaiblissement des facteurs biologiques ne devienne trop important. Par exemple, on peut penser qu'autour de 65 ans, les personnes âgées feront appel à leur bagage culturel pour pallier à la diminution des facteurs biologiques mais qu'autour de 70 ans, le poids des facteurs biologiques prendrait le pas sur l'efficacité des facteurs culturels et que ceux-ci ne seraient plus aussi efficaces pour maintenir leur niveau de fonctionnement préalable. Dans une récente méta-analyse d'études transversales, Opdebeeck, Martyr et Clare (2016) ont mis en évidence un effet modérateur de l'âge sur la relation entre le niveau d'éducation et les performances en MDT. Les « jeunes-âgés » dans la soixantaine bénéficiaient davantage d'un haut niveau d'éducation sur leurs performances en MDT que les personnes plus âgées. Des études plus anciennes mettaient déjà en évidence cet effet protecteur uniquement chez des jeunes âgés. En effet Bornstein et Suga (1988) ainsi que Heaton, Grant, et Matthews (1986) ont montré un effet protecteur de l'éducation chez des personnes âgées de 40 à 59 ans sur des mesures fluides et intellectuelles globales respectivement. Les auteurs indiquaient également que cet effet diminuait avec l'avancée en âge ; les participants avantagés par l'effet d'éducation présentaient ensuite des performances comparables à celles obtenues par les participants les moins éduqués. Ces résultats soutiennent la théorie co-constructiviste mentionnée plus haut qui suggère que le recours aux facteurs culturels pour pallier au déclin cognitif pourrait être visible tôt dans le vieillissement et s'affaiblir ensuite. Ces études concernent l'effet de l'éducation et à notre connaissance, aucune étude n'a exploré la possibilité d'une interaction entre l'âge et la pratique d'activités cognitivement stimulantes. Ces questions demeurent à être éclaircies sur des données longitudinales et des tâches de MDT précises.

1.6. Objectifs et hypothèses de recherche

En résumé, divers éléments majeurs ressortent de la revue de littérature qui précède et soutiennent le présent travail. Nous avons choisi de nous intéresser à la MDT qui est une fonction cruciale du fonctionnement cognitif, impliquée dans la réalisation de nombreuses activités complexes et dont l'affaiblissement contribue au déclin lié à l'âge dans diverses sphères cognitives. D'abord cette thèse s'appuie sur le modèle largement répandu et relativement consensuel de Miyake et collaborateurs (2000) qui postule que la MDT complexe serait sous-tendue par trois FCA : l'inhibition, l'alternance et la mise à jour. Comme mentionné plus haut, de nombreuses études transversales ont porté sur le vieillissement et la MDT ou les FCA mais aucune ne s'est intéressée de manière longitudinale aux changements liés à l'âge sur la MDT et les FCA. Une telle étude, en s'inscrivant dans un modèle théorique actuel, permettrait pour la première fois de documenter et de comparer les effets maturationnels sur la MDT et les FCA. C'est un point de départ important pour répondre à certaines questions qui animent la recherche dans le vieillissement à savoir quand et comment décline la MDT ?

Ensuite, la preuve des différences interindividuelles au sein du vieillissement n'est plus à faire, de nombreuses études ont d'ailleurs mis en évidence que les variabilités interindividuelles s'accroissent avec l'avancée en âge (voir par exemple Lupien et Lecours, 1993). Une littérature grandissante témoigne de l'effet bénéfique de certains facteurs tels que l'éducation ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur les performances cognitives. Cependant, très peu d'études ont porté de manière spécifique sur les changements liés à l'âge en MDT. Parmi ces quelques études, les résultats divergent selon le type de facteur de protection étudié et la manière d'évaluer la MDT. De plus, à notre connaissance, aucune étude récente portant sur le vieillissement n'a examiné la présence d'une interaction entre les facteurs de protection de même qu'une interaction entre l'âge et les facteurs de protection. Cette thèse se propose donc d'essayer de répondre à ces questions et de discuter des résultats en s'inscrivant dans une vision co-constructiviste du vieillissement.

1.6.1. Article 1 : Changements sur 5 ans en mémoire de travail dans le vieillissement normal

Objectifs. L'étude 1 a deux objectifs : examiner les changements liés à l'âge sur le déclin de la MDT complexe et sur les FCA lors d'un suivi longitudinal de 5 ans et examiner s'il y a plus de changement chez les participants âgés-âgés que chez les jeunes-âgés. Pour cela, 40 participants âgés de 59 à 83 ans au Temps 1 ont été évalués à deux reprises à 5 ans d'intervalle. Le groupe a été scindé selon la médiane d'âge (71 ans au Temps 1) permettant de constituer un groupe de jeunes-âgés et un groupe âgés-âgés. Ils ont effectué trois tâches complexes de MDT (empan de phrases, Brown-Peterson et empan alphabétique) et plusieurs tâches mesurant trois FCA, soit l'inhibition, l'alternance et la mise à jour. A l'aide d'un plan expérimental longitudinal et d'analyses de variance (ANOVA) à mesures répétées nous serons en mesure d'évaluer la présence d'un effet de temps en comparant les performances au Temps 1 et au Temps 2 et la présence d'un éventuel déclin plus marqué chez les âgés-âgés en examinant l'interaction entre le temps et le groupe.

Hypothèses.

- 1) Nous nous attendons à ce que l'ensemble des participants présente un déclin sur les tâches de MDT et sur les FCA après 5 ans.
- 2) L'examen de la littérature porte à croire que le déclin pourrait être plus important pour la tâche d'empan de phrases et la composante d'inhibition que pour les autres mesures.
- 3) Nous pensons également que le déclin sera plus marqué chez les âgés-âgés que chez les jeunes-âgés.

1.6.2. Article 2 : Effets protecteurs des expériences précoces et tardives sur le déclin en mémoire de travail dans le vieillissement normal

Objectifs. L'étude 2 a comme principal objectif d'étudier l'effet protecteur de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur le déclin de la MDT au sein du vieillissement normal. L'étude porte ici sur les tâches complexes de MDT seulement et n'inclut pas les FCA. Nous avons fait ce choix afin de limiter le nombre de comparaisons et

parce que les tâches complexes nous apparaissaient plus sensibles et plus représentatives à la fois des activités complexes réalisées dans la vie quotidienne et des épreuves utilisées dans l'évaluation neuropsychologique des personnes âgées. Le niveau d'éducation est déterminé à partir de la combinaison entre le nombre d'années d'études complétées et une estimation du quotient intellectuel verbal (sous test Vocabulaire du WAIS-IV; Wechsler, 2011). Nous avons choisi de déterminer le niveau d'éducation de cette manière afin de capter, le plus finement possible à la fois la quantité et la qualité de l'éducation (Manly, Jacobs, Touradji, Small, et Stern, 2002). Le niveau de pratique d'activités cognitivement stimulantes a été déterminé à partir de la section « Novel Information Processing » du questionnaire validé du VLS (Hertzog, Hultsch, & Dixon, 1999; Hultsch, Hammer, & Small, 1993; Hultsch, Hertzog, Small, & Dixon, 1999). Comme objectifs secondaires, l'étude examine s'il existe une interaction entre les facteurs de protection et si leur effet est différent en fonction de l'âge des participants. Des analyses de régressions simples et multiples seront conduites afin de déterminer si l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes sont associées aux changements de la MDT et si ces effets interagissent avec l'âge.

Hypothèses.

- 1) Compte tenu des deux études rapportées dans ce domaine, nous nous attendons à ce que la pratique d'activités cognitivement stimulantes protège des effets de l'âge sur le déclin de la MDT. En revanche, nous pensons que le niveau d'éducation n'aura pas d'impact sur le déclin en MDT.
- 2) Compte tenu des études mentionnées, nous pensons que l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes auront un effet indépendant sur le déclin de la MDT. Autrement dit, nous pensons qu'il n'y aura pas d'interaction entre ces deux facteurs.
- 3) Bien que très peu d'études aient évalué cette question de façon empirique, nous pensons que l'effet protecteur de l'éducation pourrait être différent chez les jeunes-âgés que chez les âgés-âgés. Nous pensons que l'éducation pourrait davantage protéger les jeunes-âgés que les âgés-âgés. En revanche, la littérature ne nous permet pas de faire d'hypothèse

concernant une éventuelle interaction entre l'âge et la pratique d'activités cognitivement stimulantes.

Chapitre II

Article 1

Five-year longitudinal changes in working memory in older age

Apport de chaque co-auteur

Audrey Cordière a fait la revue de littérature, élaboré les objectifs et hypothèses de recherche, testé les participants, analysé les données et rédigé l'article.

Stéphanie Sylvain-Roy a créé les tâches expérimentales et réalisé le Temps 1 de cette étude pour son travail de thèse.

Sylvie Belleville a été impliquée en tant que directrice de recherche à chacune des étapes énumérées ci-dessus.

Five-year longitudinal changes in working memory in older age

Audrey Cordière, Stéphanie Sylvain-Roy, and Sylvie Belleville

Manuscrit soumis

Abstract

The present study assesses the changes that occur in working memory (WM) within normal aging over a five-year period using a longitudinal design. Older adults were tested with composite measures of three attentional control functions – inhibition, shifting and updating – and on complex WM tasks (reading span, the Brown-Peterson procedure and alpha span) twice over five years. Cognitive change was measured by comparing the performance at study entry (Time 1) vs. five years later (Time 2). We also compared the performances of “young-old” (M_{age} at Time 1 = 65.79; SD = 3.66) vs. “old-old” individuals (M_{age} at Time 1 = 75; SD = 3.65) to see whether an interaction between Time and Group would reveal an increase in the magnitude of the time effect in old-old group. Results showed a significant effect of Time indicating a decline on the three complex WM tasks and on the inhibition and shifting attentional control functions. There was no interaction effect, suggesting no acceleration of WM decline in old-old age. This study showed that decline in WM capacities with aging is pervasive and significant, and that it can be observed over a relatively short five-year period.

Keywords: aging, working memory, attentional control, decline

Working memory (WM) is a crucial component of cognitive functioning: it is necessary for numerous higher-level cognitive skills including general reasoning (Kyllonen & Christal, 1990; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002), intelligence (Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Hockey & Geffen, 2004; Unsworth & Engle, 2005) and general language abilities (Kemper, Herman, & Liu, 2004). A WM decline has been proposed to underlie many of the cognitive changes experienced over the course of aging (Baddeley, 1986; Kirasic, Allen, Dobson, & Binder, 1996, Van der Linden et al., 1999). Yet, most studies addressing WM in aging have relied on cross-sectional rather than longitudinal comparisons, hence revealing *age differences* rather than *age changes* (Hultsch, Hertzog, Small, McDonald-Miszczak, & Dixon, 1992; Singer, Verhaeghen, Ghisletta, Lindenberger, & Baltes, 2003). Thus, a major question in this study will address whether WM age-related changes occur during aging, using a longitudinal design and tasks that are based on current theoretical WM models.

WM is a limited capacity system that temporarily holds and actively manipulates a small quantity of information (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1992). It is most often measured by complex tasks, which involve concurrent storage and processing. The reading span task, in which participants are asked to memorize the last word of a series of sentences while also judging their semantic plausibility, is an archetypal instance of a complex WM task for which age-related impairment has been consistently reported (Meguro, Fujii, Yamagori, Tsukiura, Okuda, & Osaka, 2000; Sylvain-Roy, Lungu, & Belleville, 2015). However, other complex WM tasks such as the alpha span, which requires participants to recall a series of words in alphabetical order rather than in order of presentation (Craik, 1986), or the Brown-Peterson procedure in which participants are asked to maintain a small number of items in memory while executing an interference task, showed little or no impact of age (Belleville, Peretz, & Malenfant, 1996; Belleville, Rouleau, & Caza, 1998; Bherer, Belleville, & Peretz, 2001; Lamar, Zonderman, & Resnick, 2002; Sylvain-Roy et al., 2015). When comparing age-related effects in the same population, Sylvain-Roy and collaborators (2015) confirmed the age effect on reading span task and found an effect of age on the Brown-Peterson procedure but no age effect on the alpha span task. Thus, age differences are not uniformly observed on all WM tasks.

Similarly selective effects have been observed when examining the attentional control functions that underlie WM. According to current models (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki,

& Howerter, 2000), WM relies on the interplay of at least three relatively independent attentional control functions: inhibition, shifting and updating. Inhibition is the ability to focus one's attention on relevant information while deliberately ignoring irrelevant stimuli (Hasher & Zacks, 1988). Shifting is the ability to alternate between different tasks or between different elements within a task (Monsell, 1996). Updating is the ability to modify the content of WM and leave room for new information by suppressing information that is no longer necessary (De Beni & Palladino, 2004). A similar tripartite organization was found to account for WM capacities in older adults (Fisk & Sharp, 2004; Sylvain Roy et al., 2015).

Several studies have examined the effect of age on these skills, but the magnitude and consistency of the empirical data vary considerably depending on the function being measured. For instance, a relatively consistent effect of age was found for inhibition (Belleville, Rouleau, & Van der Linden, 2006; Sweeney, Rosano, Berman, & Luna, 2001; Wecker, Kramer, Wisniewski, Delis, & Kaplan, 2000), and this was proposed to account for most of the age-related cognitive deficits (Hasher, Lustig, & Zacks, 2007). Numerous studies indicate an age effect on global shifting, which compares performance on pure (i.e., a condition in which only a single task is performed) vs. mixed block (i.e., a condition in which subjects alternate between two different tasks; Kray & Lindenberger, 2000; Mayr, 2001; for a review see Wasylshyn, Verhaeghen, & Sliwinski, 2011) conditions, and a milder effect on local shifting, which compares performance on shift and non-shift trials (Kray & Lindenberger, 2000; Mayr & Kliegl, 2000). Comparatively, the literature is less consistent for updating, with some studies showing a negative effect of age (Etienne, Marin-Lamellet, & Laurent, 2008), while others report no age differences (Radvansky, Copeland, Berish, & Dijkstra, 2003; Sylvain-Roy et al., 2015; Verhaeghen & Basak, 2005). Very few studies have directly compared the three components proposed by Miyake's model (2000) in the same group of participants, but a recent study reported a larger age effect for inhibition tasks than for shifting and updating tasks (Sylvain-Roy et al., 2015), hence supporting age differences on only a selective set of attentional control functions.

The literature on the age effects on WM and attentional control functions is rich and suggests a differential effect of age. One major problem however is that most studies have relied on pure cross-sectional designs. Cross-sectional designs compare the performance of different age groups observed at a specific point in time, and those interested in aging most often compare

extreme age groups of young students in their 20s to adults over 65 years of age. Cross-sectional designs are based on *interindividual* observations rather *intraindividual* observations and thus provide information on age differences rather than on age changes. Scientists studying the effect of age are generally interested in the *maturational effects*. They want to know when and how fast age-related cognitive decline occurs (MacDonald & Stawski, 2016). However, because they are easier to observe, researchers often substitute intraindividual with interindividual observations and maturational changes are inferred from the observed interindividual differences. Yet, *age differences* are not equivalent to *age changes* because they are influenced by differences related to the social and historical context characterizing the lives of individuals. Generational effects refer to cognitive differences between two cohorts (or groups), which could be explained, at least in part, by demographical, cultural and/or educational changes occurring across different generations (i.e., Flynn effect; Flynn, 1984).

Many authors have indicated that in order to infer age-related changes from cross-sectional studies, the interindividual and intraindividual variability would have to be equivalent, the changes would need to be homogeneous and the environment would have to be perfectly stable (Hofer, Sliwinski, & Flaherty, 2002; Lindenberger & von Oertzen, 2006; Schaie, 2009). Unfortunately, these are very strict and unrealistic criteria (Curran & Bauer, 2011; Hoffman & Stawski, 2009; Molenaar, 2004) and the use of cross-sectional designs generally leads to mixing age (i.e., maturational) and generational effects. An overestimation of effects allegedly due to age has been proposed to result from cross-sectional designs relative to longitudinal ones (Gerstorff, Ram, Hoppmann, Willis, & Schaie, 2011; Nilsson, Sternang, Rönnlund, & Nyberg, 2009; Schaie & Hertzog, 1996). Note that generation differences are typically assumed to favour younger adults but they could also benefit older adults and hinder true age-related changes. For example, educational strategies learned at school might reduce the performance of younger adults on tasks requiring grammar or numerical knowledge (see Alwin, 1991; Glenn, 1994; Schaie, Willis, & Pennak, 2005). It is important to highlight that longitudinal designs are not devoid of potential bias. For example test-retest effects or selective attrition might reduce the ability to detect a maturational change. Nevertheless, because it is an intraindividual phenomenon, longitudinal design was proposed to be the design of choice to study cognitive aging (Hofer & Sliwinski, 2001).

Comparing longitudinal changes in different age stratum is an interesting compromise. Indeed, given that life expectancy currently exceeds the eighth decade in most industrialized countries, the aging phase is becoming a lengthy period that can include up to 40 years of life. A growing literature indicates that significant cognitive changes occur during that phase (Giambra, Arenberg, Zonderman, Kawas, & Costa Jr., 1995; M.M. Baltes, 1998). Some evidence suggests that age decline on cognition is larger in older relative to young-old adults. For instance, Hultsch, and colleagues (1992) evaluated two groups of older adults (an old-old group, with a mean age of 75 and a young-old group, with a mean age of 65), twice over a three-year period. Results showed a more marked decline in the old-old adults compared to the young-old participants for verbal WM. Singer and collaborators (2003) also reported a larger decline in old-old (78 years old and over) than in young-old adults (70-77 years old) over a 6-year period in four cognitive domains (i.e., perceptual speed, episodic memory, verbal fluency, general knowledge). These two studies suggest an acceleration of cognitive decline in older age. This is in line with the two-process lifespan theory, which suggests that fluid/mechanic abilities such as WM or attentional control functions, differ in their lifespan trajectory from crystallized/pragmatic abilities (numerical or semantic knowledge; P.B. Baltes, 1997; P.B. Baltes, Staudinger, & Lindenberger, 1999). Mechanic abilities would show a gradual linear decline during adulthood with some mild acceleration in very old age, whereas pragmatic abilities would remain stable and only show decline in the very old (P.B. Baltes, Lindenberger, & Staudinger, 2006; Li, Lindenberger, Hommel, Aschersleben, Prinz, & P.B. Baltes, 2004). We were therefore interested in knowing whether this would be the case for complex WM and attentional control functions.

Our major objective was to evaluate and to compare the age-related changes in attentional control functions and WM over a five-year period in older individuals. As a secondary objective, we compared the age-related changes in young-old and old-old individuals in order to evaluate whether the decline accelerates in older adults. The study was designed to identify whether similar changes would occur on different WM tasks or attentional control functions. Most cross-sectional WM studies have focused on single attentional control function or on WM tasks taken in isolation. Thus, it is unknown whether age-related decline varies among WM components or functions. In this longitudinal study, older adults were evaluated twice over a five-year period on three complex WM tasks: reading span, the Brown-Peterson procedure and alpha span. Additional tasks were used to evaluate inhibition, shifting and updating. Based on previous

findings, we expected that age decline would occur over this relatively short period and that the decline would be of a larger magnitude in the old-old adults than in the young-old participants. We also expected that decline would support a dissociation between WM components and be larger on reading span and inhibition tasks than on other measures.

Method

Participants

Seventy-four older adults were initially recruited between 2007 and 2010 and participated on Time 1 (Sylvain-Roy et al., 2015). They were independent, community-dwelling individuals recruited through local advertisements and the *Banque de participants du Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal (CRIUGM)*. Five years later (Time 2; $M = 5.2$ years, $SD = 0.6$), they were contacted again and asked whether they would agree to complete a second assessment. Out of the initial group, 32 did not participate on Time 2: 20 of them had changed their address, eight had mobility limitations that prevented them from coming to the research center and four refused to participate. Thus, 42 individuals completed the second visit. On both testing occasions, participants were excluded if they had depressive symptoms (i.e., a score of 8 or higher on the Geriatric Depression Scale), had undergone general anaesthesia during the six months prior to testing, had a history of stroke with loss of consciousness, a history or presence of alcoholism or drug addiction, and use of medications known to affect cognition (e.g., benzodiazepine). On Time 2, two persons were excluded because their scores on the Geriatric Depression Scale were above the cut-off at follow-up. The remaining 40 participants (27 women and 13 men) were aged between 59 and 83 ($M_{age} = 70.6$) at the first time of measurement (Time 1) and had a mean of 14.2 years of education ($SD = 3.3$). Participants were further divided into two groups on the basis of the median age of the group. The young-old group comprised 19 participants (12 women and 7 men, M_{age} at Time 1 = 65.79; $SD = 3.66$), and the old-old group comprised 21 participants (15 women and 6 men, M_{age} at Time 1 = 75; $SD = 3.65$). We compared those with participants who were lost on follow-up on cognitive, demographic and health dimensions and found that participants retained at follow-up scored significantly higher on the Charlson self-reported health questionnaire (0.7 vs. 0.4) but were equivalent on all other measures, including global cognition and WM measures.

Participants were characterized using measures of physical health (Charlson Comorbidity Scale; Charlson, Pompei, Ales, & MacKenzie, 1987), vascular health (Villeneuve, Belleville, Massoud, Bocti, & Gauthier, 2009), depressive symptoms (Geriatric Depression Scale; Yesavage, Brink, Rose, Lum, Huang, Adey, & Leirer, 1982), and cognition (Mini-Mental State Examination, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975, Montreal Cognitive Assessment; Nasreddine, Phillips, Bédirian, Charbonneau, Whitehead, Collin, Cummings, & Chertkow, 2005). Table I presents characteristics of participants and the results obtained on the different tests and questionnaires.

Materials

Complex working memory tasks

Reading span. In this computerized task, participants read a series of semantically correct or incorrect sentences (De Ribaupierre & Ludwig, 2003). They were asked to make a yes/no semantic plausibility judgment on each sentence and to recall the last word of every sentence at the end of the series. Series varied in length from two to five sentences. There were four blocks for each series length. Participants recalled the words orally and pressed on the computer keyboard to indicate their yes/no plausibility judgment. The dependent variable was the proportion of correctly recalled words.

Brown-Peterson paradigm. In this adapted version of the Brown-Peterson task (Belleville et al., 1996), participants were asked to hold three consonants in WM while performing a simple addition task (i.e., add 1 to random numbers) during delays of 0, 10, 20, or 30 seconds. There were 12 trials (three per delay) preceded by three practice trials. Delays were presented in a pre-randomized order. The examiner presented consonants and numbers orally at a rate of one item per second. Participants responded orally to the addition task. An auditory signal instructed them to recall the consonants by writing them down in the order of presentation. The dependent variable was the number of correctly recalled consonants.

Alpha span. Finally, in this task (Belleville et al., 1998), participants were read aloud 20 series of words, which they were either instructed to recall in the order of presentation (control condition; 10 series) or in alphabetical order (10 series). The length of the series corresponded to the participant's word span, as measured prior to the task. The proportion of words correctly recalled in the alphabetical recall condition was the dependent variable.

Attentional control function tasks

Inhibition composite tasks

Modified version of the Stroop. We used a computerized adapted version of the standard Stroop paradigm (Stroop, 1935). There were control items (coloured asterisks), congruent items (colour words printed in their colour, e.g., the word “blue” printed in blue ink) as well as incongruent ones (colour words printed in a different ink colour, e.g., the word “blue” printed in red ink). All three item types were presented randomly in two blocks of 72 trials. Participants were asked to name the ink colour of items using a reaction time (RT)-recording microphone and the experimenter recorded the responses. The dependent variable was the inhibition cost: the mean RT for incongruent trials minus the mean RT for control trials, divided by the mean RT for control trials.

Antisaccade. In this computerized task adapted from Roberts, Hager, and Heron’s task (Roberts, Hager, & Heron, 1994), participants were cued to the opposite side of where the target would appear. A visual cue (a square) was first presented on either the left or the right side of the screen. Immediately after, a target arrow briefly appeared on the opposite side. Participants had to indicate whether the arrow pointed upward or downward by responding on the computer keyboard. This task consisted of 90 trials, and the dependent variable was the proportion of correct responses.

Shifting composite tasks

Plus minus. This task was a paper and pencil task, adapted from Jersild (1927) and Spector and Biederman (1976). Participants were first asked to add 3 to a series of 30 two-digit numbers, then to subtract 3 to another series of 30 numbers (non-shift conditions). Then, they were asked to alternate between adding and subtracting 3 from another series of 30 two-digit numbers (shift condition). In all conditions, they were asked to complete the task as fast as possible. The dependent variable was the global shift cost, calculated by subtracting the mean time taken to complete the two non-shift blocks from the time taken to complete the shifting block.

Number-letter. This was a computerized adaptation of Rogers and Monsell’s task (1995). In this task, the computer screen was divided into four quadrants. A pair, composed of a number and a letter (i.e., 8A), was presented in one of the quadrants. Participants had to respond to either the number or the letter, depending on the position of the pair on the screen. When the pair was

presented in one of the top two quadrants, participants had to indicate whether the number was odd or even, whereas when it was presented in one of the bottom two quadrants, participants had to indicate whether the letter was a vowel or a consonant. Participants first completed two non-shift conditions where pairs were always presented on the top (32 trials) or on the bottom (32 trials) part of the screen. Then, the shifting condition (128 trials) was presented, in which the position of the pairs alternated between the top and bottom quadrants of the screen. The dependent variable was a shift cost, calculated by subtracting the mean RT for the non-shift trials from the mean RT for the shifting trials.

Left-right shifting. In this computerized task (Belleville, Bherer, Lepage, Chertkow, & Gauthier, 2008), two digits were presented on a computer screen, one on the right and the other on the left side. In two 30-trial blocks, participants were first asked to identify the digit presented on the left side (block 1) or on the right side (block 2). In the following block (74 trials), a visual cue prompted participants to alternate conditions every five to nine trials. The shift cost was computed by subtracting the mean RT for the non-shift trials from the mean RT for the trials following a shift of the visual prompt.

Updating composite tasks

Keep track. This task was an adapted version of Yntema's task (1963). Twelve words belonging to one of four categories appeared one at a time in the middle of the computer screen (e.g., sister, blue, pear, aunt, piano, red). The category names to which the words belonged (e.g., family members, fruits, musical instruments, colours) were presented simultaneously at the bottom of the screen and remained there for the entire presentation. At the end of the series, participants were instructed to write down the last word they had seen that belonged to each of the semantic categories. Words were presented randomly, so that participants had to continuously update their memory content. Six 12-word series were presented, and the dependent variable was the proportion of correct responses.

Tone-monitoring. This task was a computerized adaptation of the Larson, Merritt, and Williams' task (1988) and of the Miyake et al., (2000) task. It consisted of a series of randomly presented tones with a high, medium, or low pitch. Participants were instructed to keep track of the number of tones presented for each pitch level and to press the appropriate key of the keyboard when they heard three tones of the same pitch level. Four series of 19 tones were presented, and the dependent variable was the proportion of correct responses.

Letter-updating. In this computerized task, twelve series of consonants were presented visually and participants were asked to orally recall the last consonants of the series. The number of consonants to be recalled corresponded to the participant's consonant span (evaluated prior to the task) minus one item. Four series of different lengths (participant's span minus one item, plus one item, plus three items, or plus five items) were presented in a random order. The dependent variable was the proportion of correct recall.

Design and procedure

Participants were tested individually over two sessions of approximately two hours each, with an interval of approximately one week between the two sessions. The order of the tasks was determined at random, with the constraint that no tasks measuring the same construct would follow each other. For the first session, the order of the tests was as follows: left-right shifting, antisaccade, tone-monitoring, MoCA, modified version of the Stroop task, alpha span, and an adapted version of the Brown-Peterson task. For the second session, the order of the tests was as follows: vascular risks questionnaire, MMSE, number-letter, keep-track, plus-minus, letter updating, reading span, and GDS. The order of the tasks was fixed across participants to allow for interindividual comparisons. The following tasks were presented using E-Prime (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002): reading span, number-letter, antisaccade, modified version of the Stroop task, keep-track, tone monitoring, and letter updating. PsyScope (Cohen, MacWhinney, Flatt, & Provost, 1993) was used for the left-right shifting task. The same tasks and testing procedure were used on both testing time points (Time 1 and Time 2).

Statistical analyses

RT and proportion of correct responses were used as dependent variables. For RTs, trials that were more than three standard deviations away from an individual's mean RT were discarded. RTs were then log-transformed. Arcsine transformations were applied to proportion variables, in order to reduce ceiling and floor effects (Judd, McClelland, & Ryan, 2009). Furthermore, the directionality was inverted for some of the variables so that higher values indicated better performance. Composite scores were computed for inhibition and updating by averaging the *z*-scores obtained on the tasks measuring each construct. For shifting, we separated the data that reflected local shifting vs. global shifting. Thus, a global shifting score was obtained from the plus-minus task, and a local shifting composite score was obtained by averaging the *z*-

scores of the number-letter and left-right shifting tasks. The only exception was that higher values for global shifting indicated a lower performance (i.e., a greater cost). Performances on WM tasks were not pooled because they were shown to reflect different dimensions (Sylvain-Roy et al., 2015) and were thus analyzed separately for each task. Composite scores were analyzed separately with mixed ANOVAs using Group (young-old; old-old) as a between-subject factor and Time (Time 1; Time 2) as a within-subject factor. WM tasks were analyzed separately with mixed ANOVAs using Group (young-old; old-old) as a between-subject factor, Time (Time 1; Time 2) as a within-subject factor and Task condition (number of sentences; delay; recall condition) as a repeated factor.

Results

Preliminary data analyses

Examination of the distributions for all dependant variables revealed only three outliers: two participants for the left-right shifting task and one for the number-letter task. Those data were replaced by the value that corresponded to three standard deviations away from the mean in the direction of the deviation. This procedure allowed us to normalize the data while still preserving information about the direction in which the extreme score was “pulling” the mean (Field, 2005). Following the replacement of these data points, a test of Kolmogorov-Smirnov was carried out for each dependant variable and all distributions were considered normal.

Age and time effect on complex working memory tasks

Table II shows the performances of the entire group (young-old plus old-old participants), young-old, and old-old participants on the reading span task. For reading span, the Group x Time x Number of sentences ANOVA indicated a main effect of Number of sentences, $F(3, 34) = 248.02, p < .001$, and a main effect of Time, $F(1, 36) = 6.07, p = .02$. Post-hoc comparisons with Bonferroni adjustment showed that the Number of sentences effect was due to a decrease in performance that declined with Number of sentences and to all conditions that differed one from another. The main Time effect indicated lower performance at Time 2 than at Time 1. No Group effect $F(1, 36) = 0.29, p = .59$, or interactions were found to be significant.

Table III shows the performances of the entire group (young-old plus old-old participants), young-old, and old-old participants on the Brown-Peterson paradigm. For this task, the Group x Time x Delay ANOVA indicated a main effect of Delay, $F(3, 36) = 13.81, p < .001$.

Pairwise comparisons with the Bonferroni adjustment indicated a better recall for the 0s delay compared to the other three delays. A main Time effect was also found $F(1, 38) = 6.28, p = .02$, due to performance decreasing between Time 1 and Time 2. However, neither the Group $F(1, 38) = 1.32, p = .26$, nor any of the interactions were found to be significant.

Table IV shows the performances of the entire group (young-old plus old-old participants), young-old, and old-old participants on the alpha span task. On this task, the Group x Time x Recall condition ANOVA indicated a main effect of Recall, $F(1, 38) = 96.18, p < .001$, and a main Time effect, $F(1, 38) = 4.60, p = .04$. The performance for the direct recall was higher than the alphabetical recall, and alphabetical performance decreased between Time 1 and Time 2. There was no Group effect $F(1, 38) = 0.01, p = .98$, and none of the interactions were significant.

Age and time effects on attentional control functions

Table V shows the performances of the entire group (young-old plus old-old participants), young-old, and old-old participants on the composites of the attentional control functions. The ANOVA on the composite inhibition score indicated a main effect of Time, $F(1, 38) = 7.30, p = .01$, but neither a Group effect, $F(1, 38) = 1.50, p = .23$, nor a Time x Group interaction, $F(1, 38) = 0.73, p = .40$. A main effect of Time was found for the local shifting composite score, $F(1, 36) = 5.83, p = .02$, but no Group effect, $F(1, 36) = 1.57, p = .22$, or Time x Group interaction $F(1, 36) = 0.00, p = .99$, were found. We also found a main effect of Time for the global shifting score, $F(1, 38) = 4.16, p = .05$, but again, no Group effect, $F(1, 38) = 1.33, p = .26$, or Time x Group interaction $F(1, 38) = 0.00, p = .97$, were found. In all three cases, the main effect of Time indicated a lower performance at Time 2 than at Time 1. None of the effects or interactions reached significance for the updating composite score, Time $F(1, 38) = 2.22, p = .15$, Group, $F(1, 38) = 3.61, p = .07$, Time x Group, $F(1, 38) = 0.50, p = .48$.

Discussion

This study reports the changes that occur over five years when performing complex WM and fine attentional control tasks in young-old (M_{age} at entry = 65.79) and old-old participants (M_{age} at entry = 75). We found evidence for significant and pervasive changes. A decline was found over the five-year follow-up for all complex WM tasks and for two of the three attentional control functions (i.e., inhibition and shifting). In turn, our results showed no Group x Time

interaction, indicating that the decline is equivalent in both the young-old and the old-old participants, hence failing to support an acceleration of WM decline in this age segment. The following section will discuss how our findings address our research objectives.

Age-related changes in working memory

Results from the longitudinal follow-up indicate the presence of a significant WM decline over a five-year period in older adults. Not many studies have investigated age-related changes on WM with a longitudinal design, but our results are consistent with the studies showing noticeable cognitive changes in older adults, even over a relatively short period of time (3 to 6.5 years: Hultsch et al., 1992; Singer et al., 2003). However, our findings of decline on the alpha span and Brown-Peterson procedure are not entirely akin to results from cross-sectional studies. In fact, many cross-sectional studies found little or no effect of age on these two tasks (Belleville et al., 1996; Belleville et al., 1998; Bherer et al., 2001; Lamar et al., 2002; Sylvain-Roy et al., 2015). The larger effect found with longitudinal comparisons compared with cross-sectional ones suggests that the estimation of the age effect might have been underestimated by cross-sectional designs. This could have many explanations. Cross-sectional comparisons can confound true age effects with generational ones. Generational differences may actually benefit older adults in these particular tasks. For instance, the alpha span task and the Brown-Peterson procedure involve processes that are based on academic learning, i.e., reporting items in alphabetical order and performing calculation tasks in the interference condition of the Brown-Peterson procedure. It is possible that differences in education approaches or in accumulated knowledge actually favoured older adults in cross-sectional comparisons and reduced the ability to find true age-related differences on these two tasks. A similar interpretation was proposed in a previous study to explain the greater age-related changes than age differences found in verbal fluency (Schaie & Strother, 1968). Thus, our results might reflect the fact that generational effects in some cases may favour older adults and hinder true age-related changes.

Comparing decline in young-old and old-old adults

The second objective was to compare the decline in a group of young-old (M_{age} at Time 1 = 65.79) and a group of old-old adults (M_{age} at Time 1 = 75). The results suggest that decline is not larger in the old-old group, and this is true for both the complex WM tasks and the attentional control functions tasks. These results may appear surprising given the suggestion of more marked

cognitive changes in the later stages of aging, particularly after the seventh decade (P.B. Baltes et al., 1999). There are some possible explanations for this absence of an acceleration effect. First, it is important to acknowledge that acceleration was not directly measured here but was inferred with a transversal comparison by asking if the effect of time differs in the two age groups. A possible explanation for both groups showing similar decline could relate to selective attrition in the group of old-old adults. There might have been a larger dropout rate among participants who are at risk of declining more markedly than in more stable individuals (Radler & Ryff, 2010; Sliwinski & Buschke, 1999). Note that persons who dropped out from our study were less healthy globally, but they were not cognitively different from those who remained in the study. Thus, differential attrition cannot easily account for the finding. Another possible explanation is that the group of old-old adults might have benefited more than younger ones from the test-retest effect inherent to longitudinal studies. Again while a possibility, this is an unlikely explanation because the long interval between the two time points (five years) likely mitigates the impact of test-retest effects. Rönnlund, Nyberg, Bäckman and Nilsson (2005) and Schaie (2013) both indicated that test-retest effect is very modest over a five-year interval. Still another possibility to explain the absence of acceleration is the fact that the group of old-old adults has not yet reached the moment at which decline accelerates. The moment at which cognition decline accelerates is not well known and can be both relative and variable across domains, individuals and generations. For instance, the suggestion that cognitive decline accelerates when people reach their mid-seventies is largely based on older studies (Hultsch et al., 1992; Schaie & Strother, 1968). The moment when cognition begins to decline more markedly might have shifted to an older age over the last decades due to better health and life conditions (nutrition, physical care, education, access to technologies). It is therefore possible that our old-old group had not yet reached the moment at which there is an acceleration of cognitive decline.

Similarities and differences of age-related changes for different working memory tasks and attentional control functions

Another objective was to examine whether similar changes occur on complex WM tasks and on the three attentional control functions – inhibition, shifting and updating – that were proposed to underlie WM (Miyake et al., 2000; see also Fisk & Sharp, 2004; Sylvain-Roy et al., 2015). The five-year WM decline was found to be pervasive and was observed on all complex WM tasks (reading span, the Brown-Peterson procedure and alpha span) and on two attentional

control functions: inhibition and shifting (global and local). As the study of Sylvain-Roy and collaborators (2015) constitutes the Time 1 of our study, it is a great opportunity to directly compare our longitudinal results to their cross-sectional findings. In their study, older adults were compared cross-sectionally with a group of young adults. Interestingly, Sylvain-Roy and colleagues (2015) reported a significant age effect on the reading span task, on the Brown-Peterson procedure and for inhibition, all in favour of young adults. Our results are in line with these findings. The authors also found no difference between young adults and older adults for updating, which is similar to our results. Thus, updating seems to be quite resistant to age-related changes and age differences (see also Radvansky et al., 2003; Verhaeghen et al., 2005). However, while Sylvain-Roy and collaborators (2015) found no difference between young adults and older adults on the alpha span task and for shifting, we found a decline on both. As previously mentioned, one possible explanation is that cross-sectional comparisons could underestimate age effects due to generational effects (i.e., style of education, accumulated knowledge) that favour older adults.

Limitations and methodological implications

A major strength of our study was our use of a longitudinal design to study fine components of WM. Longitudinal designs are particularly interesting when studying cognitive aging because they reduce possible confusion between maturational and generational effects, while optimizing methodological constraints. To our knowledge, our study is the first to examine age-related changes on WM and attentional control functions longitudinally. Our results show that age-related changes are rather pervasive but that the updating component remains stable. Overall, our results show that significant age-related changes on WM occur over only a five-year period. Therefore, longitudinal studies can reveal important age-related changes provided that one relies on sensitive measures. Longitudinal studies using a larger age range and/or multiple times of measurement could be highly relevant to identify the time at which cognitive decline occurs and/or accelerates.

Funding

This study was supported by a grant from the *Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada* (CRSNG) to Sylvie Belleville.

Acknowledgments

We would like to thank Emilie Lepage for her help with the recruitment and testing of participants, as well as Francine Giroux and Miguel Chagnon for their help with the statistical analyses.

Table I.

Means and standard deviations (in parentheses) on the health questionnaires and neuropsychological measures for Time 2

	Entire group	Young-old	Old-old
Age at Time 1	70.6 (5.9)	65.8 (3.7)	75 (3,7)
Women/Men	27/13	12/7	15/6
Years of Education	14.2 (3.3)	14.1 (3.4)	14.2 (3.3)
MMSE (Max=30)	28.9 (1.1)	29.1 (1)	28.7 (1.2)
MoCA (Max=30)	26.6 (2.6)	27.3 (2.6)	26 (2.5)
GDS (Max=15)	1.9 (1.9)	1.2 (1.1)	2.5 (2.3)
Charlson health questionnaire	0.4 (0.6)	0.4 (0.6)	0.5 (0.7)
Vascular health questionnaire	0.3 (0.7)	0.4 (0.8)	0.3 (0.6)

Note. MMSE = Mini Mental State Examination; MoCA = Montreal Cognitive Assessment; GDS = Geriatric Depression Scale. Charlson health questionnaire = maximum score 41. Vascular health questionnaire = maximum score 9.

Table II.

Means and standard deviations (in parentheses) on the reading span task

	Entire group	Young-Old	Old-Old
Main Time effect			
Time 1	75.37 (12.7)	73.26 (15.84)	77.27 (9.01)
Time 2	71.48 (13.42)	71.7 (15.34)	71.29 (11.8)
Change score	-3.2* (8.06)	-1.85 (8.5)	-4.41 (7.64)
Main Number of sentences effect			
2 sentences	93.3** (1.2)	91.7 (1.8)	95 (1.7)
3 sentences	85.5** (2.4)	83.8 (3.4)	87.3 (3.3)
4 sentences	68.3** (2.6)	66.4 (3.7)	70.2 (3.5)
5 sentences	49** (2.3)	50.3 (3.3)	47.8 (3.1)

Note. Mean proportion of correctly recalled words. Change score = difference between Time 1 and Time 2.

*Significant difference $p < .05$

**Significant difference $p < .001$

Table III.

Means and standard deviations (in parentheses) on the Brown-Peterson procedure

	Entire group	Young-Old	Old-Old
Main Time effect			
Time 1	31.68 (4.27)	32.74 (3.69)	30.71 (4.61)
Time 2	29.98 (4.56)	30.16 (5.08)	29.81 (4.15)
Change score	-1.7* (4.27)	-2.58 (3.73)	-0.90 (4.66)
Main Delay effect			
Delay 0s	8.8** (0.1)	8.8 (0.1)	8.7 (0.1)
Delay 10s	7.3 (0.2)	7.7 (0.3)	6.9 (0.3)
Delay 20s	7.5 (0.2)	7.6 (0.3)	7.4 (0.3)
Delay 30s	7.4 (0.2)	7.5 (0.3)	7.2 (0.3)

Note. Mean number of correctly recalled consonants. Change score = difference between Time 1 and Time 2.

*Significant difference $p < .05$

**Significant difference $p < .001$

Table IV.

Means and standard deviations (in parentheses) on the alpha span task

	Entire group	Young-Old	Old-Old
Main Time effect			
Time 1	70.45 (15.67)	70.53 (18.67)	70.38 (12.83)
Time 2	61.96 (19.65)	62.76 (22.02)	61.23 (17.77)
Change score	-8.49* (24.29)	-7.76 (27.25)	-9.14 (21.95)
Main Recall effect			
Direct Recall	82.5** (1.9)	82.4 (2.7)	82.6 (2.6)
Alphabetical Recall	66.2** (2.1)	66.6 (3)	65.8 (2.9)

Notes. Mean proportion of words correctly recalled in the alphabetical recall condition. Change score = difference between Time 1 and Time 2.

*Significant difference $p < .05$

**Significant difference $p < .001$

Table V.

Means and standard deviations (in parentheses) on the attentional control tasks

	Entire group	Young-Old	Old-Old
Inhibition			
Time 1	0.01 (0.77)	0.1 (0.72)	-0.08 (0.82)
Time 2	-0.25 (0.70)	-0.14 (0.61)	-0.36 (0.76)
Change score	-0.26** (0.61)	-0.24 (0.58)	-0.27 (0.64)
Local shifting			
Time 1	0.52 (2)	0.78 (2.17)	0.28 (1.83)
Time 2	-0.14 (0.81)	0.13 (0.5)	-0.37 (0.96)
Change score	-0.72* (1.82)	-0.73 (2.18)	-0.72 (1.5)
Global shifting			
Time 1	19.75 (15.5)	22.63 (19.25)	17.15 (10.91)
Time 2	25.33 (18.56)	28.11 (21.17)	22.81 (15.95)
Change score	5.57* (17.04)	5.48 (20.3)	5.66 (13.97)
Updating			
Time 1	0.01 (0.73)	0.07 (0.77)	-0.06 (0.70)
Time 2	-0.16 (0.64)	-0.05 (0.7)	-0.25 (0.58)
Change score	-0.16 (0.68)	-0.12 (0.69)	-0.19 (0.68)

Notes. For inhibition, local shifting and updating: mean performances (average of z-scores) for each attentional control function. For global shifting: global shift cost: a higher score indicates a lower performance. Change score = difference between Time 1 and Time 2.

*Significant difference $p < .05$

**Significant difference $p < .001$

References

- Alwin, D.F. (1991). Family of origin and cohort differences in verbal ability. *American Sociological Review*, 56, 625-638.
- Baddeley, A. D. (1986). Working Memory. New-York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1992). Working Memory. *Science*, 255 (5044), 556-559.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, (Vol. 8, pp. 47-90). New-York: Academic Press.
- Baltes, M. M. (1998). The psychology of the oldest-old: The Fourth Age. *Current Opinion in Psychiatry*, 11, 411-415.
- Baltes, P. B. (1997). On the incomplete architecture of human ontogeny : selection, optimization, and compensation as foundation of developmental theory. *American Psychologist*, 52, 366-380.
- Baltes, P. B., Lindenberger, U., & Staudinger, U. M. (2006). Life span theory in developmental psychology. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of Child Psychology: Vol. 1. Theoretical Models of Human Development* (6th ed., pp. 569-664). New-York: Wiley.
- Baltes, P. B., Staudinger, U. M., & Lindenberger, U. (1999). Lifespan psychology : theory and application to intellectual functioning. *Annual Review of Psychology*, 50, 471-507.
- Belleville, S., Bherer, L., Lepage, E., Chertkow, H., & Gauthier, S. (2008). Task switching capacities in persons with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, 46(8), 2225-2233.

Belleville, S., Rouleau, N., & Caza, N. (1998). Effect of normal aging on the manipulation of information in working memory. *Memory and Cognition*, 26(3), 572-583.

Belleville, S., Rouleau, N., & Van der Linden, M. (2006). Use of the Hayling task to measure inhibition of prepotent responses in normal aging and Alzheimer's disease. *Brain and Cognition*, 62, 113-119.

Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195-207.

Bherer, L., Belleville, S., & Peretz, I. (2001). Education, age, and the Brown-Peterson technique. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 237-251.

Charlson, M. E., Pompei, P., Ales, K. L., & MacKenzie, C. R. (1987). A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *Journal of Chronic Disease*, 40(5), 373-383.

Cohen, J. D., MacWhinney, B., Flatt, M., & Provost, J. (1993). PsyScope: A new graphic interactive environment for designing psychology experiments. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers*, 25, 257-271.

Craik, F. I. M. (1986). A functional account of age differences in memory. In F. Klix, & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities: Mechanisms and performances* (pp. 409-422). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

Curran, P. J., & Bauer, D. J. (2011). The disaggregation of within-person and between-person effects in longitudinal models of change. *Annual Review of Psychology*, 62, 583-619.

De Beni, R., & Palladino, P. (2004). Decline in working memory updating through ageing: intrusion error analyses. *Memory*, 12(1), 75-89.

- De Ribaupierre, A., & Ludwig, C. (2003). Age differences and divided attention: Is there a general deficit? *Experimental Aging Research, 29*(1), 79-105.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J.E., & Conway, A.R. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*(3), 309-331.
- Etienne, V., Marin-Lamellet, C., & Laurent, B. (2008). Executive functioning in normal aging. *Revue Neurologique, 164*, 1010-1017.
- Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS* (2nd ed.) Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Fisk, J. E., & Sharp, C. (2004). Age-related impairment in executive functioning: updating, inhibition, shifting, and access. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 26*(7), 874-890.
- Flynn, J. R. (1984). The mean IQ of Americans: massive gains 1932-1978. *Psychological Bulletin, 95*(1), 29-51.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research, 12*(3), 189-198.
- Gerstorff, D., Ram, N., Hoppmann, C., Willis, S. L., & Schaie, K. W. (2011). Cohort Differences in Cognitive Aging and Terminal Decline in the Seattle Longitudinal Study. *Developmental Psychology, 47* (4), 1026-1041.

Giambra, L. M., Arenberg, D., Zonderman, A. B., Cawas, C., & Costa Jr, P. T. (1995). Adult life span changes in immediate visual memory and verbal intelligence. *Psychology and Aging, 10* (1), 123-139.

Glenn, N. D. (1994). Television watching, newspaper reading, and cohort differences in verbal ability. *Sociology of Education, 67*, 216-230.

Grégoire, J. (2006). Devenons-nous plus intelligents? *Le Journal des Psychologues, 1*(234), 38-42.

Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake & J. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 227-249). New York, NY: Oxford University Press.

Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 22, pp. 193-225). San Diego, CA: Academic Press.

Hockey, A., & Geffen, G. (2004). The concurrent validity and test-retest reliability of a visuospatial working memory task. *Intelligence, 32*, 591-605.

Hofer, S. M., & Sliwinski, M. J. (2001). Understanding Ageing. An evaluation of research designs for assessing the interdependence of ageing-related changes. *Gerontology, 47* (6), 341-352.

Hofer, S. M., Sliwinski, M. J., & Flaherty, B. P. (2002). Understanding aging: further commentary on the limitations of cross-sectional designs for aging research. *Gerontology, 48*, 22-29.

Hoffman, L., & Stawski, R. S. (2009). Persons as contexts: Evaluating between-person and within-person effects in longitudinal analysis. *Research of Human Development, 6*(2-3), 97-120.

Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J., McDonald-Miszczak, L., & Dixon, R. A. (1992). Short-term longitudinal change in cognitive performance in later life. *Psychology and Aging, 7* (4), 571-584.

Jersild, A. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology, whole n°89*.

Judd, C. M., McClelland, G. H., & Ryan, C. S. (2009). *Data analysis: A model comparison approach* (2nd ed.). New-York, NY: Routeledge/Taylor & Francis Group.

Kemper, S., Herman, R. E., & Liu, C. J. (2004). Sentence production by younger and older adults in controlled context. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 58B*, 220-224.

Kirasic, K., Allen, G. L., Dobson, S. H., & Binder, K. S. (1996). Aging, cognitive resources, & declarative learning. *Psychology and Aging, 11*, 658-670.

Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult Age Differences in Task Switching. *Psychology and Aging, 15*(1), 126-147.

Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) Working-Memory Capacity?! *Intelligence, 14*, 389-433.

Lamar, M., Zonderman, A. B., & Resnick, S. (2002). Contribution of Specific Cognitive Processes to Executive Functioning in an Aging Population. *Neuropsychology, 16*(2). 156-162.

Larson, G. E., Merritt, C. R., & Williams, S. E. (1988). Information processing and intelligence: Some implications of task complexity. *Intelligence, 12*(2), 131-147.

Li, S. C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P. B. (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the life span. *Psychological Science, 15*(3), 155-163.

Lindenberger, U., & von Oertzen, T. (2006). Variability in cognitive aging: from taxonomy to theory. In E. Bialystok, & F. I. M. Craik. (Eds.), *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change* (pp. 297-314). Oxford University Press.

Lustig, C., May, C. P., & Hasher L. (2001). Working memory span and the role of proactive interference. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*(2), 199-207.

MacDonald, S. W. S., & Stawski, R. S. (2016). Methodological considerations for the study of adult development and aging. In K. W. Schaie, & S. L. Willis. (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (8th ed., pp. 15-40). Academic Press: Elsevier.

Mayr, U. (2001). Age differences in the selection of mental sets: The role of inhibition, stimulus ambiguity, and response-set overlap. *Psychology and Aging, 16*(1), 96-109.

Mayr, U., & Kliegl, R. (2000). Task-set Switching and Long-Term Memory Retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 26* (5), 1124-1140.

Meguro, Y., Fujii, T., Yamadori, A., Tsukiura, T., Okuda, K., & Osaka, M. (2000). The Nature of Age-Related Decline on the Reading Span Task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 22* (3), 391-398.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex « frontal lobe » tasks : a latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41* (1), 49-100.

Molenaar, P. C. M. (2004). A manifesto on psychology as idiographic science: bringing the person back into scientific psychology, this time forever. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 2(4), 201-218.

Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition* (pp. 93-148). Oxford, England: Erlbaum (Uk) Taylor & Francis, Publ.

Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA : A brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of American Geriatric Society*, 53, 695-699.

Nilsson, L. G., Sternäng, O., Rönnlund, M., & Nyberg, L. (2009). Challenging the notion of an early-onset of cognitive decline. *Neurobiology of Aging*, 30, 521-524.

Radler, B. T., & Ryff, C. D. (2010). Who participates? Accounting for longitudinal retention in the MIDUS national study of health and well-being. *Journal of Aging and Health*, 22, 307-331.

Radvansky, G. A., Copeland, D. E., Berish, D. E., & Dijkstra, K. (2003). Aging and situation model updating. *Aging, Neuropsychology, and Cognition: A Journal on Normal and Dysfunctional Development*, 10 (2), 158-166.

Roberts, R. J., Hager, L. D., & Heron, C. (1994). Prefrontal cognitive processes: Working memory and inhibition in the antisaccade task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(4), 374-393.

Rogers, R., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207-231.

Rönnlund, L., Nyberg, L., Bäckman, L., & Nilsson, L.G. (2005). Stability, growth and decline in adult life-span development in declarative memory: Cross-sectional and longitudinal data from a population-based sample. *Psychology and Aging, 20*, 3-18.

Schaie, K. W. (2009). "When does age-related cognitive decline begin?" Salthouse again reifies the "cross-sectional fallacy". *Neurobiology of Aging, 30*(4), 528-533.

Schaie, K. W. (2013). *Intellectual development in adulthood: The Seattle longitudinal study* (2nd Ed.). New-York, NY: Oxford University Press.

Schaie, K. W., & Hertzog, C. (1996). Fourteen-Year Cohort-Sequential Analyses of Adult Intellectual Development. *Developmental Psychology, 19*(4), 531-543.

Schaie, K. W., & Strother, C. R. (1968). The effect of time and cohort differences on the interpretation of age changes in cognitive behavior. *Multivariate Behavioral Research, 2*, 259-293.

Schaie, K. W., Willis, S. L, & Pennak, S. (2005). An historical framework for cohort differences in intelligence. *Research in Human Development, 2*(1&2), 43-67.

Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime user's guide*. Pittsburgh (PA): Psychology Software Tools.

Singer, T., Verhaeghen, P., Ghisletta, P., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2003). The Fate of Cognition in Very Old Age: Six-Year Longitudinal Findings in the Berlin Age Study (BASE). *Psychology and Aging, 18* (2), 318-331.

Sliwinski, M., & Buschke, H. (1999). Cross-sectional and longitudinal relationships among age, cognition, and processing speed. *Psychology and Aging, 14*(1), 18-33.

Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revisited. *American Journal of Psychology*, *89*, 669-679.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*, 643-662.

Süß, H. M., Oberauer, K., Wittmann, W., Wilhelm, O., & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability - and a little bit more. *Intelligence*, *30*, 261-288.

Sweeney, J. A., Rosano, C., Berman, R., & Luna, B. (2001). Inhibitory control of attention declines more than working memory during normal aging. *Neurobiology of aging*, *22*, 39-47.

Sylvain-Roy, S., Lungu, O., & Belleville, S. (2015). Normal aging of the attentional control functions that underlie working memory. *The Journal of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *70* (5), 698-708.

Unsworth, N., & Engle, R. W. (2005). Working memory capacity and fluid abilities: Examining the correlation between operation span and Raven. *Intelligence*, *33*, 67-81.

Van der Linden, M., Hupet, M., Feyereisen, P., Schelstraete, M. A., Bestgen, Y., Bruyer, R., Lories, G., El Ahmadi, A., & Seron, X. (1999). Cognitive mediators of age-related differences in language comprehension and verbal memory performances. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *6*, 32-55.

Verhaeghen, P., & Basak, C. (2005). Ageing and switching of the focus of attention in working memory: Results from a modified N-Back task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *58A* (1), 134-154.

Villeneuve, S., Belleville, S., Massoud, F., Bocti, C., & Gauthier, S. (2009). Impact of vascular risk factors and diseases on cognition in persons with mild cognitive impairment. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *27*, 375-381.

Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: A meta-analysis. *Psychology and Aging, 26* (1), 15-20.

Wecker, N. S., Kramer, J. H., Wisnewski, A., Delis, D. C., & Kaplan, E. (2000). Age effects on executive ability. *Neuropsychology, 14* (3), 409-414.

Yesavage, J. A., Brink, T. L., Rose, T. L., Lum, O., Huang, V., Adey, M., & Leirer, V. O. (1982). Development and validation of a geriatric depression screening scale: a preliminary report. *Journal of Psychiatric Research, 17* (1), 37-49.

Yntema, D. B., & Meuser, G. E. (1963). Keeping track of variables that have few or many states. *Journal of Experimental Psychology, 63*, 391-395.

Chapitre III

Article 2

Protective effects of early-life and late-life cognitive experiences on the age-related decline of working memory

Apport de chaque co-auteur

Audrey Cordière a fait la revue de littérature, élaboré les objectifs et hypothèses de recherche, testé les participants, analysé les données et rédigé l'article.

Simon Cloutier a participé à l'écriture des analyses statistiques et des résultats.

Sylvie Belleville a été impliquée en tant que directrice de recherche à chacune des étapes énumérées ci-dessus.

**Protective effects of early-life and late-life cognitive experiences on the age-related decline
of working memory**

Audrey Cordière, Simon Cloutier, and Sylvie Belleville

Manuscrit en préparation

Abstract

The present study assesses the protective effects of education and cognitively stimulating activities against working memory (WM) changes that occur over a five-year period in normal aging. Older adults were tested with three complex WM tasks: reading span, the Brown-Peterson procedure, and alpha span. A series of linear regressions were used to assess the effect of education and cognitively stimulating activities on WM changes with age as a term of interaction. Results showed a positive effect of practicing cognitively stimulating activities on age-related decline for the Brown-Peterson task: people who had been more engaged in cognitively stimulating activities were less subject to WM decline. There was also an effect of education, which interacts with age on the Brown-Peterson task: education was protective in young-old participants at baseline, but this was no longer found at follow-up. As a result, higher education was associated with a larger decline. There was no correlation between education and cognitively stimulating activities and no interaction between the two factors when examining their effect on cognition. This study suggests a positive but independent effect of education and cognitively stimulating activities on the WM decline in older age. We found two patterns by which cognitive experiences exert their effects on WM: the protective effect of cognitively stimulating activities occurs later and endures throughout the aging period, but that of education is present during the early period of aging and recedes after the seventh decade.

Keywords: aging, working memory, education, cognitively stimulating activities.

WM is a limited capacity system that temporarily holds and actively manipulates information (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1992). It is a crucial component of cognitive functioning and is necessary for numerous higher-level cognitive skills including reasoning (Kyllonen & Christal, 1990; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002), intelligence (Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Hockey & Geffen, 2004; Unsworth & Engle, 2005) and complex linguistic abilities (Kemper, Herman, & Liu, 2004). Several studies showed evidence for a WM decline in normal aging, which is critical considering its pervasive role (Cordière, Sylvain-Roy, & Belleville, submitted; Park & Schwartz, 2000; Sylvain-Roy, Lungu, & Belleville, 2015a).

However, aging is highly variable and there are important interindividual differences in the extent and pattern of age-related cognitive changes. A number of studies suggest that the important interindividual variability in age-related cognitive differences (Christensen, Mackinnon, Korten, Jorm, Henderson, Jacomb, & Rodgers, 1999; Sylvain-Roy & Belleville, 2015b) might be partly explained by differences in exposure to early and/or lifelong favorable conditions. Many studies have shown that different favorable life conditions such as education, social network, intellectually stimulating occupations and hobbies, and physical activities, are protective against dementia and cognitive decline (Christensen, Korten, Jorm, Henderson, Jacomb, & Rodgers, 1997; for reviews see Anstey & Christensen, 2000; Barnes & Yaffe, 2011; Valenzuela & Sachdev, 2006). According to the reserve hypothesis, favorable lifestyle conditions can increase cognitive resilience, which can be expressed through the brain's capacity to sustain and/or compensate for brain diseases or age-related cognitive decline.

Among cognitive experiences, formal education has been particularly well studied as a protective factor of cognitive decline, perhaps because it is easy to assess (Stern, 2002). It also reflects the early-life cognitive environment, particularly in childhood and early adulthood (see Bastin, Simon, Kurth, Collette, & Salmon, 2013; Le Carret, Lafont, Letenneur, Dartigues, Mayot, & Fabrigoule, 2003). Numerous studies have shown that education is protective against dementia (Barnes & Yaffe, 2011; Gatz et al., 2001; Sando et al., 2008). The practice of cognitively stimulating activities was also found to be protective against dementia and cognitive decline (Arbuckle et al., 1998; Hultsch, Hertzog, Small, & Dixon, 1999; Seeman, Lusignolo, Albert, & Berkman, 2001; Small, Dixon, McArdle, & Grimm, 2012; Wilson, Segawa, Boyle, & Bennett,

2012). Cognitively stimulating activities are complex leisure activities “in which seeking or processing information is central to participation in the activity” (Wilson, Barnes, & Bennett, 2007; p. 160). They include activities such as playing board games, using a personal computer or enrolling in a correspondence course, and questionnaires measuring cognitively stimulating activities in the context of cognitive aging most often refer to activities performed during adulthood or recent life period.

It is unclear whether education and cognitively stimulating activities reflect different constructs and/or differentially contribute to reserve. Some studies have shown that education and cognitively stimulating activities contribute independently to cognitive functioning (Richards & Sacker, 2003), while others have suggested that education moderates the effect of cognitively stimulating activities. For instance, Lachman, Agrigoroaei, Murphy, and Tun (2010) reported an interaction between education and cognitively stimulating activities when examining episodic memory performance in healthy individuals from 32 to 84 years old. Their results indicate that memory benefits more from cognitively stimulating activities in individuals with less education than in those with higher education, suggesting that cognitively stimulating activities performed during adulthood might compensate for a lack of initial education. The finding of an interaction may vary as a function of clinical status or cognitive domains. For instance, Lachman et al., (2010) found that both education and cognitively stimulating activities were protective for executive performances but that the two factors did not interact. Lee and Chi (2016) reported an interaction between education and cognitively stimulating activities for global cognitive performance, but this varied with clinical status. When examining healthy older adults, they found a protective effect of both education and cognitively stimulating activities on global cognitive performance but no interaction between the two. However, among persons with cognitive deficits, those with higher education benefited more from having been engaged in literacy activities than those with lower education.

Though education and cognitively stimulating activities clearly have a positive impact on cognition, extending this finding to the domain of WM is critical given that WM is suggested to play a prominent role in numerous cognitive abilities. Furthermore, many models suggest that WM underlies an important portion of the cognitive decline that characterizes aging (Baddeley, 1986; Kirasic, Allen, Dobson, & Binder, 1996; Van der Linden et al., 1999). Finally,

interindividual and intraindividual variability have also been shown to depict age-related differences in WM (de Ribaupierre & Ludwig, 2003; Sylvain-Roy & Belleville, 2015b), which may be amplified by cognitive lifestyle. Thus, finding that cognitive lifestyle has an impact on such a critical cognitive component would highly contribute to our understanding of the role the environment has in shaping cognition throughout one's life course.

The two-component model of aging (P.B. Baltes, 1997; P.B. Baltes, Lindenberger, & Staudinger, 2006) allows us to make predictions regarding the impact of cognitive lifestyle on WM. The model opposes pragmatic/crystallized to mechanic/fluid components of cognition. Pragmatic/crystallized components are typically measured by tasks that rely on semantic or numerical knowledge and are highly determined by acquired, experienced-based knowledge, whereas mechanic/fluid components include WM, executive functions and processing speed, and are less influenced by experiences and more closely reflect biological age changes. The model thus seems to predict that cognitive experiences would have limited effects on WM, as mechanic components are less influenced by the environment. However, the model also stresses that lifespan development is dynamic and that there may be periods when environmental factors compensate for the weakening of biological ones and their impact on mechanic/fluid components. One might expect a compensatory role for environmental factors early in the aging period when biological constraints are mild enough to be overcome by favorable lifestyle conditions.

A number of studies have investigated the effect of potential protective factors on WM performances using a cross-sectional design. In a recent meta-analysis of various cross-sectional studies, Opdebeeck, Martyr and Clare (2016) found that young-old adults in their 60's benefited from a larger effect of education than old-old adults on WM performances. This is consistent with studies showing that highly educated individuals have a general cognitive advantage between ages 40 and 59, but that they tend to converge with less educated groups in later life (see Bornstein & Suga, 1988; Heaton, Grant, & Matthews, 1986). These studies lend support to the P.B. Baltes' theory suggesting that the role of compensation may vary as a function of age and indicate that the protective effect of some cognitive experiences can occur early in the aging period and then recede. Very few studies have assessed the impact of cognitive experiences on WM decline and the findings are inconsistent. The Victoria Longitudinal Study (VLS) reported no protective effect of education on the WM decline over twelve years (Zahodne, et al., 2011),

but found a protective effect of cognitively stimulating activities over a six-year WM decline (Hultsch, et al., 1999). To our knowledge, no study has yet assessed the possibility of an interaction between age and the practice of cognitively stimulating activities on WM performances or decline.

Thus, whether WM decline is influenced by cognitive experiences remains to be determined and it is also critical to identify the conditions under which this occurs. For instance, one study found evidence for a protective effect of cognitively stimulating activities but divergent results were obtained for education. Furthermore, it remains unclear whether different categories among cognitive experiences – formal education vs. cognitively stimulating activities – influence WM to varying degrees. Moreover, the two studies reported above used composite scores to assess WM. This might have hindered protective effects because different WM tasks were found to reflect different cognitive processes and brain mechanisms (Sylvain-Roy et al., 2015a; Collette et al., 1999) that may differ in their sensitivity to long-life cognitive experiences. Finally, there is some indication that some of the protective effect provided by education only occurs early during the aging process, but this needs to be confirmed with a broader set of WM tasks and longitudinal data.

This study uses a longitudinal design to address these issues. Older adults were evaluated twice over a five-year period on three complex WM tasks: the reading span, the Brown-Peterson paradigm and the alpha span. We assessed early-life cognitive experiences through formal education and late-life cognitive experiences through older adults' participation in cognitively stimulating activities. Our main goal was to examine the protective effects of education and cognitively stimulating activities on the WM age-related decline over five years. Additional objectives were to assess whether age modifies the protective effect that education and/or cognitively stimulating activities has on WM and whether education and cognitively stimulating activities interact with each other to predict WM decline.

Method

Participants

An initial group of 74 independent, community-dwelling older adults were recruited between 2007 and 2010 (Time 1; Sylvain-Roy et al., 2015) through local advertisements and the

Banque de participants du CRIUGM. Five years later, participants were contacted again to complete a second assessment (Time 2). Thirty-two participants were lost to follow-up because they had moved (n = 20), because of mobility limitations (n = 8) or due to a lack of interest to partake in the study (n = 4). We compared participants who agreed to complete the study's follow-up with those who were excluded on cognitive, demographic and health dimensions and found that participants retained at follow-up scored higher on the Charlson self-reported health questionnaire (0.7 vs. 0.4), but were equivalent on all other measures, including global cognition and WM measures. On both testing occasions, participants were excluded if they had depressive symptoms (i.e., a score of 8 or higher on the Geriatric Depression Scale – GDS –), had undergone general anaesthesia within the last six months prior to testing, had a history of stroke with loss of consciousness, a history or presence of alcoholism or drug-addiction, or use of medications known to affect cognition (e.g., benzodiazepine). Thus, two additional persons were excluded because their scores on the GDS were above the cut-off on Time 1. Two participants did not have a reading span score at Time 1; analyses were thus conducted on 38 participants instead of 40. Regarding cognitively stimulating activities, one participant did not complete the VLS questionnaire, thus analyses were carried out for 39 participants.

Participants were described using measures of physical health (Charlson Comorbidity Scale; Charlson, Pompei, Ales, & MacKenzie, 1987), vascular health (Villeneuve, Belleville, Massoud, Bocti, & Gauthier, 2009), depressive symptoms (GDS; Yesavage, Brink, Rose, Lum, Huang, Adey, & Leirer, 1982), and cognition (Mini-Mental State Examination; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975; Montreal Cognitive Assessment; Nasreddine, Phillips, Bédirian, Charbonneau, Whitehead, Collin, Cummings, & Chertkow, 2005).

Materials

Measures of reserve

An education score was obtained by combining the number of years of formal education completed sequentially from childhood and the score on the WAIS-IV Vocabulary subtest (Wechsler, 2011). This method was used by numerous authors in previous studies (Bastin et al., 2013; Stern, 2002; Stern, 2009), as the number of years of formal education reflects the amount of education, whereas the WAIS-IV Vocabulary reflects educational quality (Manly, Jacobs, Touradji, Small, & Stern, 2002). Cognitively stimulating activities were measured with the

“Novel information processing” subscale of the self-administered VLS, which has been reported as a valid measure of cognitive activities (Hultsch, Hammer, & Small, 1993; Hertzog, Hultsch, & Dixon, 1999; Hultsch, et al., 1999). The VLS questionnaire is a 70-item questionnaire in which participants indicate on a 9-point scale, from never to daily, how frequently they have participated in different activities over the past two years. The “Novel information processing” subscale is determined from the responses to 27 cognitively challenging activities such as word games (i.e., Scrabble), giving public lectures or engaging in business activities unrelated to their career.

Working memory tasks

Reading span. The reading span task was presented using E-Prime (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002). Participants read a series of semantically correct or incorrect sentences (De Ribaupierre & Ludwig, 2003) and were asked to make a yes/no semantic plausibility judgment on each sentence in addition to recalling the last word of every sentence at the end of the series. Series varied in length from two to five sentences. There were four blocks for each series length. Participants recalled the words orally and pressed on the computer keyboard to indicate their yes/no plausibility judgment. The dependent variable was a change score, i.e., the difference of correctly recalled words between Time 1 and Time 2.

Brown-Peterson paradigm. In this adapted version of the Brown-Peterson task (Belleville et al., 1996), participants were asked to hold three consonants in WM while performing a simple addition task (i.e., add 1 to random numbers) during delays of 0, 10, 20, or 30 seconds. There were 12 trials (three per delay) preceded by three practice trials. Delays were presented in a pre-randomized order. The examiner, at a rate of one item per second, presented consonants and numbers orally. Participants responded orally to the addition task. An auditory signal instructed them to recall the consonants by writing them down in the order of presentation. The dependent variable was a change score, that is, the difference of correctly recalled consonants between Time 1 and Time 2.

Alpha span. Finally, in this task (Belleville et al., 1998), participants were read aloud 20 series of words, which they were either instructed to recall in the order of presentation (control condition; 10 series) or in alphabetical order (10 series). The length of the series corresponded to the participant’s word span, as measured prior to the task. A change score, i.e., the difference of

correctly recalled words in the alphabetical condition between Time 1 and Time 2 was the dependent variable.

Design and procedure

Participants were tested individually. They were enrolled in a larger study that included a broader range of WM tasks (see Cordière, Sylvain-Roy, & Belleville, submitted). This broader testing was done over two sessions of approximately two hours each, with an interval of about one week between the two sessions. The order of the tasks was determined randomly with the constraint that no tasks measuring the same construct followed each other. Task order was the same for all participants, in order to allow for interindividual comparisons. The MoCA, alpha span, and Brown-Peterson tasks were part of the first session. At the end of the first session, the VLS questionnaire was explained to participants and they were asked to complete it and to bring it back for the following session. The vascular risks questionnaire, MMSE, Vocabulary (WAIS-IV, Wechsler, 2011), reading span, and GDS were part of the second session. The same tasks and testing procedure were used on both testing time points (Time 1 and Time 2).

Statistical analyses

The number of years of formal education (z-score) was averaged with the z-score of the Vocabulary subtask (WAIS-IV; Wechsler, 2011). A higher score indicates a higher level of education. For cognitively stimulating activities and in order to facilitate interpretation, a z-score was constructed from the responses of the “Novel information processing” from the VLS questionnaire. A higher score indicated a higher level of practice of cognitively stimulating activities. Change scores on the complex WM tasks were computed as the difference in the number or proportion of correct responses between Time 1 and Time 2. These were then transformed into z-scores to determine the change scores. In all cases, negative scores indicated a decline. A Pearson correlation analysis was first used to assess the relation between the education and the cognitively stimulating activities scores and each of these factors with WM baseline performances. We then ran simple linear regression analyses separately for each complex WM task to examine the effects of age and cognitive experiences (i.e., education and cognitively stimulating activities) on WM decline and baseline performances. We also conducted multiple regressions to assess the effect of the interaction between age and each cognitive experience on WM decline and baseline performances. To identify the source of an interaction when found,

separate simple regressions were done in groups divided as a function of the median age (71 years of age) and/or median education score. Finally, a last model examined the presence of an interaction between education and cognitively stimulating activities scores on WM baseline performances and on decline.

Results

Table I presents the demographic characteristics, the results obtained on the cognitive tests and health questionnaires, as well as the education and cognitively stimulating activities scores for the entire group (young-old plus old-old participants) and for the young-old and old-old participants separately. Young-old participants did not differ from the old-old individuals regarding global cognitive measures (MOCA, MMSE), psychological health (GDS), physical health questionnaires, education, and cognitively stimulating activities scores. The correlational analysis indicated that education and cognitively stimulating activities scores were not correlated, $r = 0.3$ ($p = .06$) even if they are closed to significance. They were thus treated as independent factors in the following regression models.

The ANOVA comparing Time 1 and Time 2 for each WM task indicated that there was a significant decline for all participants on the reading span, the Brown-Peterson and the alpha span tasks (Table II). No difference was found between the decline experienced in young-old and in old-old participants on the three tasks.

Age. When entered on its own, age did not predict baseline performances for the Brown-Peterson, $F(1, 38) = 2.87$, $p = .10$, reading span, $F(1, 36) = 3.02$, $p = .09$, or alpha span, $F(1, 38) = 0.57$, $p = .45$. Furthermore, age did not predict the five-year change scores for the Brown-Peterson, $F(1, 38) = 2.58$, $p = .12$, the reading span, $F(1, 36) = 2.95$, $p = .09$, or for the alpha span, $F(1, 38) = 0.17$, $p = .68$.

Education. At baseline, there was no correlation between education and performances for the Brown-Peterson, $r = 0.1$, ($p = .38$), the reading span, $r = 0.2$, ($p = .21$) or the alpha span, $r = 0.2$, ($p = .30$). However, the interaction between age and education was a significant predictor of the baseline performances on the Brown-Peterson task, $F(1, 38) = 6.3$, $p = .02$, and explained 14.2% of the observed variance (Table III). When splitting the group as a function of age, higher education was associated with better performance on the Brown-Peterson task only in young-old, $F(1, 17) = 14.55$, $p = 0.001$, and predicted 43% of the observed variance (Figure 1). There was no

effect of education on the performances of old-old participants on the Brown-Peterson task, $F(1, 19) = 1.70, p = .21$. Interaction between age and education predicted baseline performances on neither the reading span, $F(1, 36) = 0.18, p = .67$, nor the alpha span, $F(1, 38) = 0.17, p = .68$.

Education entered as a single predictor did not predict the five-year change scores on the Brown-Peterson, $F(1, 38) = 0.09, p = .76$, reading span, $F(1, 36) = 0.02, p = .88$, or alpha span, $F(1, 38) = 0.17, p = .68$. The interaction between age and education score was found to be a significant predictor of the change scores on the Brown-Peterson task, $F(1, 38) = 6.57, p = .01$, and explained 14.7% of the observed variance (Table III). The interaction was due to the fact that in those with lower education, decline did not differ as a function of age $F(1, 18) = 0.01, p = .92$, whereas age was inversely related to decline in those with higher education, $F(1, 18) = 5.66, p = .03$ (Figure 2). As shown in Figure 3, performance is high at entry and declines rapidly in those with higher education. The interaction between age and education did not significantly predict the decline for the reading span, $F(1, 36) = 0.22, p = .64$, or the alpha span, $F(1, 38) = 0.33, p = .57$.

Practice of cognitively stimulating activities. There was no correlation at baseline between cognitively stimulating activities and performances on the Brown-Peterson task, $r = -0.1, (p = .41)$, reading span, $r = 0.2, (p = .20)$ or alpha span, $r = 0.1, (p = .44)$. The interaction between age and the cognitively stimulating activities score did not predict the baseline performances on the Brown-Peterson task, $F(1, 37) = 3.43, p = .07$, the reading span, $F(1, 35) = 2.18, p = .15$, or the alpha span, $F(1, 37) = 0.51, p = .48$. The practice of cognitively stimulating activities entered as a single predictor predicted a change score on the Brown-Peterson task, $F(1, 37) = 5.66, p = .02$, and explained 13.3% of the observed variance (Table 4). The higher the level of reported practice on cognitively stimulating activities was, the smaller the decline was from Time 1 to Time 2 (Figure 4). Cognitively stimulating activities did not predict change scores on the reading span, $F(1, 35) = 0.04, p = .84$, or the alpha span tasks, $F(1, 37) = 0.51, p = .48$. Furthermore, the practice of cognitively stimulating activities did not interact with age to predict the change scores on the Brown-Peterson, $F(1, 37) = 2.29, p = .14$, the reading span, $F(1, 35) = 2.52, p = .12$, or the alpha span, $F(1, 37) = 0.11, p = .74$.

Interaction between education and cognitively stimulating activities. A last model indicated that education and cognitively stimulating activities did not interact to predict baseline performances on the Brown-Peterson task, $F(1, 37) = 0.07, p = .80$, the reading span, $F(1, 35) = 0.78, p = .39$, or the alpha span task, $F(1, 37) = 0.27, p = .61$. The two factors did not interact to

predict cognitive change on the Brown-Peterson paradigm, $F(1, 37) = 0.29, p = .60$, the reading span task, $F(1, 35) = 0.37, p = .55$, or the alpha span task, $F(1, 37) = 0.11, p = .75$.

Discussion

This study uses a longitudinal design to examine 1) the protective effects of education and cognitively stimulating activities over the five-year WM decline in older adults, 2) whether the protective effect varies as a function of age and 3) whether the protective effect of education and cognitively stimulating activities interact with one other. Results showed a protective effect of formal education on the Brown-Peterson task but this effect was found only in the early period of aging. In contrast, late-life cognitively stimulating activities contribute to reducing the rate of decline on the Brown-Peterson task throughout the aging period. Finally, we found that the two factors are independent and do not interact with one another.

Protective effect of early- and late-life cognitive experiences on WM decline

Our results are quite compelling in showing that cognitive lifestyle contributes positively to WM during aging. People who practice more cognitively stimulating activities and those with higher education benefit from protection on the Brown-Peterson procedure. Interestingly, we found two different patterns by which cognitive experiences exert their effects: the protective effect of education is present during the early period of aging and recedes after the seventh decade, whereas that of cognitively stimulating activities occurs later and endures over the aging period. The protective effect of early- and late-life cognitive experiences supports the “engagement hypothesis”, suggesting that intellectual engagement may buffer age-related cognitive decline (Schooler & Mulatu, 2001). Our results indicate that the protective effect of cognitive experiences extends to the WM decline. This is critical considering the crucial role that WM plays for general cognitive performance (Baddeley, 1986; Kirasic et al., 1996; Van der Linden et al., 1999). Thus, maintenance of WM over the years should contribute to sustaining a better and healthier cognitive life.

Comparing the roles of education and cognitively stimulating activities

Most of our results point to the fact that education and cognitively stimulating activities are independent and so are their protective effects. First, there was no correlation between these two

factors, indicating that they are not systematically related among older individuals. Second, we found no interaction between education and the practice of cognitively stimulating activities, a result similar to that reported by Lachman et al., (2010) and Lee and Chi (2016). This suggests that their effect is not cumulative and that they do not moderate each other. Finally, their protective effects have a different temporal pattern, with an early protective effect for education and a later and more enduring effect for cognitively stimulating activities.

The dissociation between education and cognitively stimulating activities is consistent with emerging evidence that the two factors do not have similar effects on the brain. For instance, Foubert-Samier et al., (2012) suggested that education is associated with differences in brain structure, whereas cognitively stimulating activities might determine differences in task-related activation. Education is experienced at a time when structural brain plasticity culminates, and it is likely that this factor has an effect on cerebral structures. In contrast, late-life cognitively stimulating activities may have an impact on cognitive strategies and hence, on how older adults use their neural networks. Note, however, that such an interpretation needs to be confirmed because there are studies that have found effects of education on task-related activation differences (see Boller, Mellah, Ducharme-Laliberté, & Belleville, 2016) and others that have reported structural differences in relation to cognitively stimulating activities (see Schultz et al., 2015).

Interestingly and despite evidence mentioned above, the independence between education and cognitively stimulating activities might appear counterintuitive, as one would expect that individuals with better education would also be those who would engage in cognitively stimulating activities and that the two factors would potentiate each other. However, the relation between these two factors in a given population might also be highly culture dependent. As an example, ease of access to education or to cognitively stimulating activities might determine their correlation to a large extent. It is interesting to note that access to education was limited for French Quebecers in the period during which our participants were born and growing up (1924 to 1951) but that the “Révolution tranquille”, which occurred during the sixties, profoundly affected social mobility and increased the general access of the population to cultural and social activities. This might explain why formal education does not account for the amount of cognitive activities in which individuals engaged later in life and hence justifies the lack of an association between

the two factors. Further studies need to be conducted in order to confirm the differential impact of education and cognitively stimulating activities on the brain and to understand their mechanisms. Also, one might argue that Quebec society is particularly well suited to expose the two factors independently.

Selective effects on the Brown-Peterson task

One of our goals was to assess whether the protective effect was the same across different complex WM tasks by using three different WM measures. We did find a very selective effect, as only the Brown-Peterson procedure was sensitive to early- and late-life cognitive experiences. Interestingly, one previous study reported that education had no effect on WM decline (Zahodne et al., 2011) and though inconsistent at first sight, a closer look at the study indicates that their results are actually coherent with our findings. Indeed, Zahodne and collaborators (2011) used a composite score which combined computation span, listening span and sentence construction tasks, three tasks that are very similar to the reading and alpha span tasks for which we found no protective effect either. Thus, our results both confirm Zahodne's findings and lend support to our hypothesis that different tasks of WM reflect different dimensions of this complex cognitive function and that they might be differently related to protective or risk factors. Finding a dissociation as a function of the task is not entirely unexpected because numerous studies have shown that different WM tasks rely on different cognitive processes and that brain mechanisms are differentially sensitive to brain diseases (Sylvain-Roy et al., 2015a; Collette et al., 1999). Because WM tasks are not all equivalent, it is possible that some are less malleable and hence potentially less sensitive to environmental factors. In support of this hypothesis, some twin studies have reported that multiple genetic factors influence performance on the reading span task or similar tasks (Ando, Ono, & Wright, 2001; Kremen et al., 2007). For instance, in middle-aged twins, Kremen et al., (2007) found that heritability for reading span was .51 when compared to other tasks (digit forward and reading task) and a part of this genetic influence came from specific genes dedicated to the reading span task. Furthermore, studies have shown that the reading span task reflects processes that depend on cultural knowledge rather than the reverse (Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merickle, 1996; Just & Carpenter, 1992). Thus, the lack of an impact of education and cognitively stimulating activities on the reading span task may be due to the fact that it is more biologically constrained and hence less subject to environmental support. Of course, further studies will be needed to better explain why only the Brown-Peterson

procedure is sensitive to cognitive lifestyle, but this selective effect has important methodological implications, as it suggests that researchers should carefully choose their tasks when interested in the role of environmental factors on WM.

Interaction with age and implications for the co-constructionist theory

Two interesting patterns of decline were found as a function of age. The protective effect of cognitively stimulating activities was found during the entire aging period. In turn, the protective effect of education occurred early but recedes around the mid-seventies. Furthermore, performance of highly educated young-old adults declines at a fast rate and converges with that of older ones, as well as with individuals with less education when they reach their mid-seventies. This finding is consistent with those of other studies (Bornstein & Suga, 1988; Heaton et al., 1986; Opdebeeck et al., 2016).

Our results can be related to the P.B. Baltes' theory suggesting that, in the aging period, cultural factors can compensate for biological decline and thus help maintain a certain cognitive level in domains such as WM. The model, relying on a dynamic view of lifespan cognitive development, suggests that the protective effect of cultural factors on mechanic measures can vary as a function of age. Hence, support from cultural or lifestyle factors may no longer be possible as people get older and as biological decline accumulates. Our results lend partial support to this theory, as the protective effect of education on the Brown-Peterson occurs only in young-old adults at baseline and then recedes in the mid-seventies. In contrast, we found that the practice of cognitively stimulating activities is protective, irrespectively of age. Thus, one important aspect of our finding was to discover that different protective effects have their own temporal window. The particular sequence found here is especially interesting. The positive effect of education is no longer present at a later age, perhaps because its effect is no longer sustainable. In the mid-seventies, cognitively stimulating activities have a more important role to promote cognitive maintenance. This observation also provides support to studies suggesting that cognitive stimulation programs provided later in life may create a form of reserve and promote cognitive health in older adults (Belleville, et al., 2006; Bier, de Boysson, & Belleville, 2014).

Limitations

This work has limitations that we should acknowledge. One limitation is the relatively small number of participants and the large loss to follow-up. However, we found consistent and significant results in spite of a relatively small number of participants. Another limitation is that we did not examine the impact of socio-economic status or professional occupation. Though it is possible that socio-economic status influences education and the practice of cognitively stimulating activities, our study was not designed to examine the complex interaction between these different factors. Finally, another limitation concerns the causality link between WM and protective factors. We cannot entirely rule out the possibility that those with a better WM or less decline were more inclined to engage in cognitively stimulating activities. However, two arguments lead support to our hypothesis. First, we did not find any correlation between the cognitively stimulating activities score and WM at entry. Second, our main finding is on decline and participants were asked to report their practice of cognitively stimulating activities over the past two years. The temporal order gives us good reasons to think that WM decline does not predict engagement in cognitively stimulating activities two years earlier. However, studies using multiple times of measurement with short intervals and assessing the change in the practice of cognitively stimulating activities and in WM could enlighten this point.

Conclusion

Overall, our results show that the maintenance of WM capacities with age can benefit from contextual factors such as education and cognitively stimulating activities. This is critical because WM is known to be central for a broad range of complex cognitive tasks and because its decline was suggested to account for a large part of the cognitive impairment experienced by older adults. The study also shows that early-life (i.e., education) and late-life cognitive experiences (i.e., cognitively stimulating activities) contribute independently to WM maintenance with age. This is an important finding encouraging the practice of cognitively stimulating activities, whatever the level of education, and providing support to the reserve hypothesis, which states that cognitive reserve could be formed throughout one's life, as opposed to being only determined by early-life experiences. Finally, our results show that education is protective early in the aging period but that its effect then recedes; on the other hand cognitively stimulating activities show a later but enduring protective effect over the aging period. These results suggest

that the protective effect of different factors acquired throughout the lifespan show differential temporal pattern in older age and could be expressed through different mechanisms.

More longitudinal studies including a larger number of participants and a broader range of protective factors are needed in order to better determine their impact on WM decline. Neuroimaging studies could also contribute to better understanding the effect of early-life and late-life factors on the brain. A direct implication is that examining the brain mechanisms associated with WM should be done in conjunction with the level of education or practice of cognitively stimulating activities. These could lead to a better understanding of the dynamic life span cognition and of the way that protective factors impact the brain and cognition.

Funding

This study was supported by a grant from the *Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada* (CRSNG) to Sylvie Belleville.

Acknowledgments

We would like to thank Emilie Lepage for her help with recruitment and testing of participants and Miguel Chagnon for his help with statistical analyses.

Table I.

Means and standard deviations (in parentheses) for the demographics, global cognitive measures, health questionnaires, and protective factors for Time 2

	Entire group	Young-old	Old-old
Age at Time 1	70.6 (5.9)	65.8 (3.7)	75 (3,7)
Women/Men	27/13	12/7	15/6
Years of Education	14.2 (3.3)	14.1 (3.4)	14.2 (3.3)
MMSE (Max=30)	28.9 (1.1)	29.1 (1)	28.7 (1.2)
MoCA (Max=30)	26.6 (2.6)	27.3 (2.6)	26 (2.5)
GDS (Max=15)	1.9 (1.9)	1.2 (1.1)	2.5 (2.3)
Charlson health questionnaire	0.4 (0.6)	0.4 (0.6)	0.5 (0.7)
Vascular health questionnaire	0.3 (0.7)	0.4 (0.8)	0.3 (0.6)
Education score	0 (0.9)	-0.03 (1)	0,03 (0,8)
<i>High education</i>	<i>0.7 (0.5)</i>	<i>0.6 (0,3)</i>	<i>0.7 (0,7)</i>
<i>Low education</i>	<i>-0.7 (0.5)</i>	<i>-0.9 (0.6)</i>	<i>-0.6 (0.4)</i>
Cognitively stimulating activities score	-0.05 (1)	-0.1 (1)	-0.01 (1)
<i>High score</i>	<i>0.7 (0.6)</i>	<i>0.6 (0.7)</i>	<i>0.9 (0.5)</i>
<i>Low score</i>	<i>-0.9 (0.5)</i>	<i>-0.9 (0.6)</i>	<i>-0.9 (0.4)</i>

Note. MMSE = Mini Mental State Examination; MoCA = Montreal Cognitive Assessment; GDS = Geriatric Depression Scale. Charlson health questionnaire: maximum score = 41. Vascular health questionnaire: maximum score = 9. Education and Cognitively stimulating activities scores are expressed in z-scores

Table II.

Means and standard deviations (in parentheses) for the three WM tasks

	Entire group	Young-Old	Old-Old
Brown-Peterson			
Time 1	31.68 (4.27)	32.74 (3.69)	30.71 (4.61)
Time 2	29.98 (4.56)	30.16 (5.08)	29.81 (4.15)
Change score	-1.7* (4.27)	-2.58 (3.73)	-0.90 (4.66)
Reading span			
Time 1	75.37 (12.7)	73.26 (15.84)	77.27 (9.01)
Time 2	71.48 (13.42)	71.7 (15.34)	71.29 (11.8)
Change score	-3.2* (8.06)	-1.85 (8.5)	-4.41 (7.64)
Alpha span			
Time 1	70.45 (15.67)	70.53 (18.67)	70.38 (12.83)
Time 2	61.96 (19.65)	62.76 (22.02)	61.23 (17.77)
Change score	-8.49* (24.29)	-7.76 (27.25)	-9.14 (21.95)

Note. For the Brown-Peterson task: mean number of correctly recalled consonants. For the reading span task: mean proportion of words correctly recalled. For the alpha span task: mean proportion of words correctly recalled in alphabetical order.

*Significant difference between Time 1 and Time 2: $p < .05$

Table III.

Simple and multiple regression analyses predicting performances and change score for the Brown-Peterson task

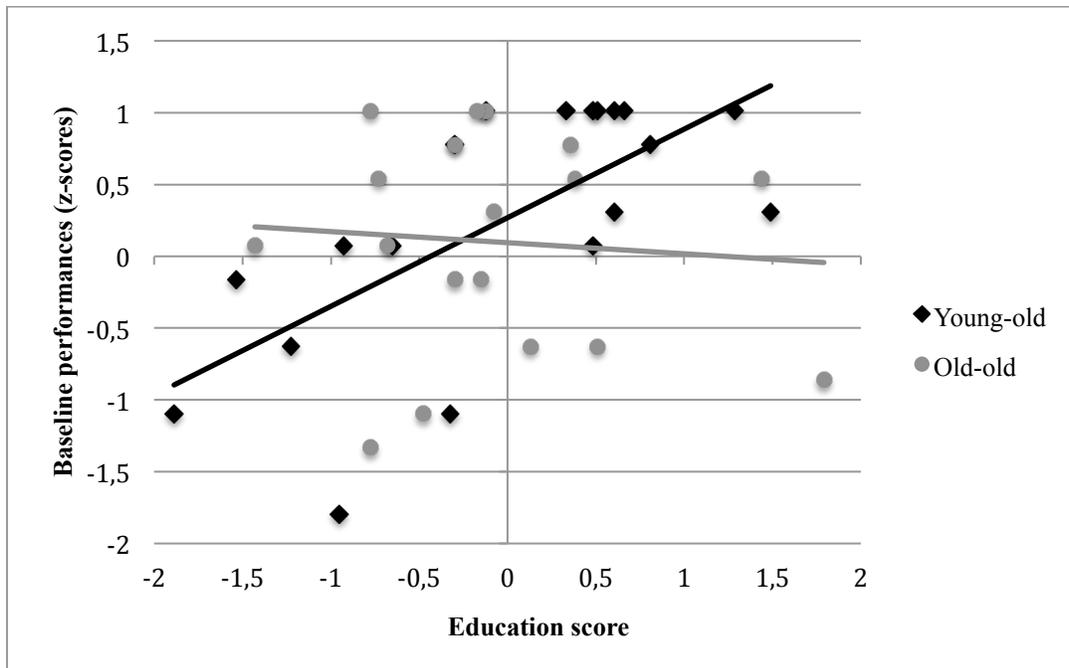
	R ²	B	CI
Brown-Peterson baseline performances			
Age	0.070	-1.131	[-2.483, 0.221]
Education	0.020	0.703	[-0.901, 2.308]
Age x Education	0.142*	-1.811*	[-3.271, -0.350]
Brown-Peterson change score			
Age	0.064	1.077	[-0.281, 2.435]
Education	0.002	0.242	[-1.379, 1.862]
Age x Education	0.147*	1.846*	[0.388, 3.304]
Brown-Peterson change score			
Cognitively stimulating activities	0.133*	17.593*	[2.610, 32.576]
Age x Cognitively stimulating activities	0.058	2.897	[-0.978, 6.772]

Note. CI = 95% Confidence Interval for B.

* $p < .05$

Figure 1.

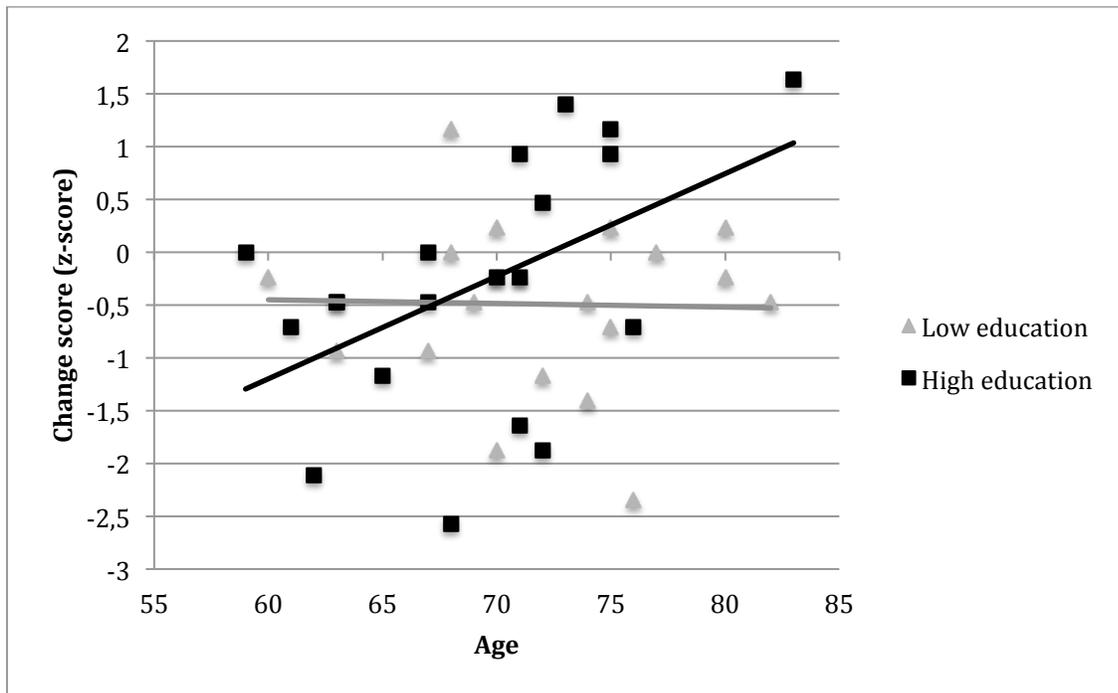
Interaction between education and age on baseline performances for the Brown-Peterson task



Note. Smaller scores reflect worse performances or smaller education score.

Figure 2.

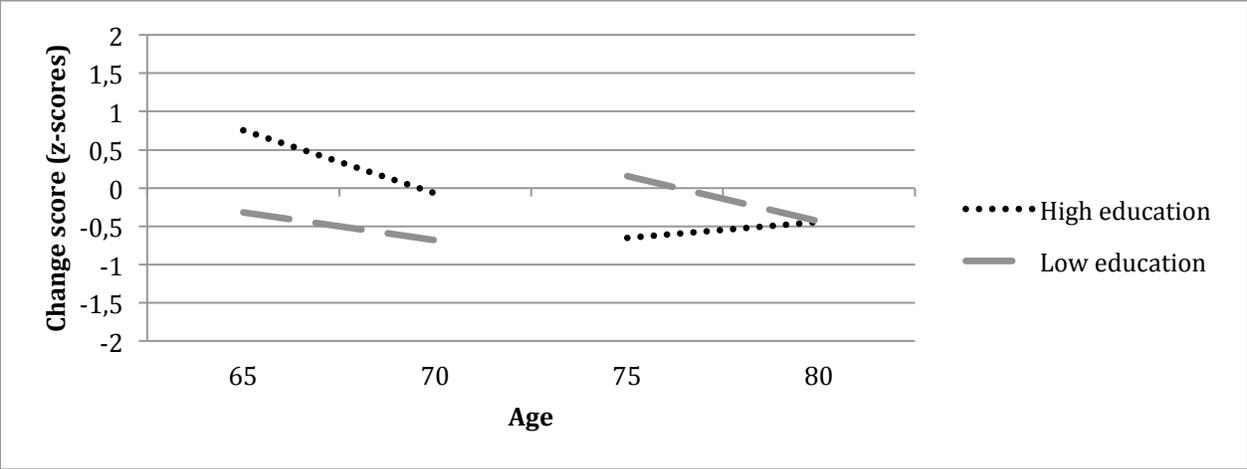
Interaction between education and age on the change score for the Brown-Peterson task



Note. Negative scores reflect decline.

Figure 3.

Change scores on the Brown-Peterson task by age and education score



Note. Negative scores reflect decline.

References

- Ackerman, P.L., Beier, M.E., & Boyle, M.O. (2005). Working memory and intelligence: the same or different construct? *Psychology Bulletin*, *131* (1), 30-60.
- Ando, J., Ono, Y., & Wright, M. J. (2001). Genetic structure of spatial and verbal working memory. *Behavior Genetics*, *31*, 615–624.
- Anstey, K., & Christensen, H. (2000). Education, activity, health, blood pressure and apolipoprotein E as predictors of cognitive change in old age: A review. *Gerontology*, *46*, 163-177.
- Arbuckle, T. Y., Maag, U., Pushkar, D., & Chaikelson, J. S. (1998). Individual differences in trajectory of intellectual development over 45 years of adulthood. *Psychology and Aging*, *13*(4), 663-675.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. New-York: Oxford University Press.
- Baddeley, A.D. (1992). Working Memory. *Science*, *255* (5044), 556-559.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, *8*. London: Academic Press.
- Baltes, P.B. (1997). On the incomplete architecture of human ontogeny: selection, optimization, and compensation as foundation of developmental theory. *American Psychologist*, *52*, 366-380.
- Baltes, P. B., Lindenberger, U., & Staudinger, U. M. (2006). Life span theory in developmental psychology. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of Child Psychology: Vol. 1. Theoretical Models of Human Development* (6th ed., pp. 569-664). New-York: Wiley.

Barnes, D. E., & Yaffe, K. (2011). The projected effect of risk factor reduction on Alzheimer's disease prevalence. *Lancet Neurology*, *10*, 819-828. doi:10.1016/S1474-4422(11)70072-2

Bastin C, Simon J, Kurth S, Collette F, Salmon E. (2013). Variabilité individuelle dans le fonctionnement de la mémoire épisodique au cours du vieillissement normal et pathologique : le rôle de la réserve cognitive. *Revue de Neuropsychologie*, *5* (4), 235-242 doi:10.1684/nrp.2013.0278

Belleville, S., Gilbert, B., Fontaine, F., Gagnon, L., Ménard, E., & Gauthier, S. (2006). Improvement of episodic memory in persons with mild cognitive impairment and healthy older adults: Evidence from a cognitive intervention program. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *22*, 486-499.

Belleville, S., Rouleau, N., & Caza, N. (1998). Effect of normal aging on the manipulation of information in working memory. *Memory and Cognition*, *26* (3), 572-583.

Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, *34* (3), 195-207.

Bier, B., de Boysson, C., & Belleville, S. (2014). Identifying training modalities to improve multitasking in older adults. *Age*, *36*(9688), 1-16. doi 10.1007/s11357-014-9688-2

Boller, B., Mellah, S., Ducharme-Laliberté, G., & Belleville, S. (2016). Relationships between years of education, regional grey matter volumes, and working memory-related brain activity in healthy older adults. *Brain Imaging and Behavior*. doi 10.1007/s11682-016-9621-7

Bornstein, R. A., & Suga, L. J. (1988). Educational level and neuropsychological performance in healthy elderly subjects. *Developmental Neuropsychology*, *4*, 17-22.

Charlson, M.E., Pompei, P., Ales, K.L., & MacKenzie, C.R. (1987). A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *Journal of Chronic Disease, 40* (5), 373-383.

Christensen H., Mackinnon A. J., Korten A. E., Jorm, A. F., Henderson, A. S. Jacomb, P. & Rodgers, B. (1999). An analysis of diversity in the cognitive performance of elderly community dwellers: individual differences in change scores as a function of age. *Psychology of Aging, 14*, 365-379.

Christensen, H., Korten, A.E., Jorm, A.F., Henderson, A.S., Jacomb, P.A., Rogers, B., & Mackinnon, A.J. (1997). Education and decline in cognitive performance: compensatory but not protective. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 12*, 323-330.

Collette, F., Salmon, E., Van der Linden, M., Chicherio, C., Belleville, S., Degueldre, C., Delfiore, G., & Franck, G. (1999). Regional brain activity during tasks devoted to the central executive of working memory. *Cognitive Brain Research, 7*, 411– 417.

Cordière, A., Sylvain-Roy, S., & Belleville, S. (submitted). Five-year longitudinal changes in working memory in older age.

Daneman, M., & Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19*, 450-466.

Daneman, M., & Merickle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension. *Psychonomic Bulletin & Review, 3*(4), 422-433.

De Ribaupierre, A., & Ludwig, C. (2003). Age differences and divided attention: Is there a general deficit? *Experimental Aging Research, 29*(1), 79-105.

Engle, R.W., Tuholski, S.W., Laughlin, J.E., & Conway, A.R. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 309-331.

Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198.

Foubert-Samier, A., Catheline, G., Amieva, H., Dilharreguy, B., Helmer, C., Allard, M., & Dartigues, J. (2012). Education, occupation, leisure activities, and brain reserve: A population-based study. *Neurobiology of Aging*, 33 (2), 423.e15-423.e25.

Gatz, M., Svedberg, P., Pedersen, N. L., Mortimer, J. A., Berg, S., & Johansson, B. (2001). Education and the risk of Alzheimer's disease: Findings from the study of dementia in Swedish twins. *Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 56, 292-300. doi:10.1093/geronb/56.5.P292

Heaton, R. K., Grant, I., & Mathews, C. (1986). Differences in neuropsychological test performance associated with age, education and sex. In I. Grant & K. M. Adams (Eds.), *Neuropsychological assessment in neuropsychiatric disorders* (pp. 108–120). New York: Oxford University Press.

Hertzog, C., Hultsch, D. F., & Dixon, R. A. (1999). On the problem of detecting effects of lifestyle on cognitive change in adulthood: Reply to Pushkar et al., (1999). *Psychology and Aging*, 14(3), 528-534.

Hockey, A., & Geffen, G. (2004). The concurrent validity and test-retest reliability of a visuospatial working memory task. *Intelligence*, 32, 591-605.

Hultsch, D. F., Hammer, M., & Small, B. J. (1993). Age differences in cognitive performance in later life: Relationships to self-reported health and activity life style. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, *48*, 1–11.

Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J., & Dixon, R. A. (1999). Use it or lose it: engaged lifestyle as a buffer of cognitive decline in aging? *Psychology and Aging*, *14*(2), 245-263.

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: individual differences of working memory. *Psychological Review*, *99*(1), 122-149.

Kemper, S., Herman, R. E., & Liu, C. J. (2004). Sentence production by younger and older adults in controlled context. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, *58B*, 220-224.

Kirasic, K., Allen, G. L., Dobson, S. H., & Binder, K. S. (1996). Aging, cognitive resources, & declarative learning. *Psychology and Aging*, *11*, 658-670.

Kremen, W. S., Xian, H., Eisen, S. A., Tsuang, M. T., Jacobsen, K., Eaves, L. J., & Lyons, M. J. (2007). Genetics of verbal working memory processes: A twin study of middle-aged men. *Neuropsychology*, *21*(5), 569-580. doi: 10.1037/0894-4105.21.5.569

Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) Working-Memory Capacity?! *Intelligence*, *14*, 389-433.

Lachman, M. E., Agrigoroaei, S., Murphy, C., & Tun, P. A. (2010). Frequent cognitive activity compensates for education differences in episodic memory. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, *18*(1), 4-10.

Le Carret, N., Lafont, S., Letenneur, L., Dartigues, J. F., Mayo, W., & Fabrigoule, C. (2003). The effects of education on cognitive performances and its implication for the constitution of the cognitive reserve. *Developmental Neuropsychology*, *23*(3), 317-337. doi: 10.1207/S15326942DN2303_1

Lee, Y., & Chi, I. (2016). Do cognitive leisure activities really matter in the relationship between education and cognition? Evidence from the aging, demographics and memory study (ADAMS). *Aging and Mental Health*, 20(3), 252-261. doi:10.1080/13607863.2015.1011081

Manly, J. J., Jacobs, D. M., Touradji, P., Small, S. A., & Stern, Y. (2002). Reading level attenuates differences in neuropsychological tests performances between African American and White elders. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(3), 341-348.

Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA : A brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of American Geriatric Society*, 53, 695-699.

Opdebeeck, C., Martyr, A., & Clare, L. (2016). Cognitive reserve and cognitive function in healthy older people: A meta-analysis. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 23(1), 40-60. doi: 10.1080/13825585.2015.1041450

Park, D., & Schwartz, N. (2000). *Cognitive aging: a primer*. Hove (UK) : Psychology Press.

Richards, M., & Sacker, A. (2003). Lifetime antecedents of cognitive reserve. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25, 614-24.

Sando, S. B., Melquist, S., Cannon, A., Hutton, M., Sletvold, O., Saltvedt, I.,...& Aasly, J. (2008). Risk reducing effect of education in Alzheimer's disease. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 23, 1156-1162. doi: 10.1002/gps.2043

Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime user's guide*. Pittsburgh (PA): Psychology Software Tools.

Schooler, C., & Mulatu, M. S. (2001). The reciprocal effects of leisure time activities and

intellectual functioning in older people: A longitudinal analysis. *Psychology and Aging*, *16*, 466–482.

Schultz, S. A., Larson, J., Oh, J., Kosciak, R., Dowling, M. N., Gallagher, C. L., Carlsson, C. M., ... Okonkwo, O. C. (2015). Participation in cognitively-stimulating activities is associated with brain structure and cognitive function in preclinical Alzheimer's disease. *Brain Imaging and Behavior*, *9*, 729-736. doi 10.1007/s11682-014-9329-5

Seeman, T. E., Lusignolo, T. M., Albert, M., & Berkman, L. (2001). Social relationships, social support, and patterns of cognitive aging in healthy, high-functioning older adults: MacArthur studies of successful aging. *Health Psychology*, *20*(4), 243-255.

Small, B. J., Dixon, R. A., McArdle, J. J., & Grimm, K. J. (2012). Do Changes in Lifestyle Engagement Moderate Cognitive Decline in Normal Aging? Evidence from the Victoria Longitudinal Study. *Neuropsychology*, *26*(2), 144-155.

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

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

Süß, H.M., Oberauer, K., Wittmann, W., Wilhelm, O., & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability - and a little bit more. *Intelligence*, *30*, 261-288.

Sylvain-Roy, S., Lungu, O., & Belleville, S. (2015a). Normal aging of the attentional control functions that underlie working memory. *The Journal of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *70* (5), 698-708.

Sylvain-Roy, S., & Belleville S. (2015b). Interindividual differences in attentional control profiles among younger and older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *22*(3), 259-279.

Unsworth, N., & Engle, R. W. (2005). Working memory capacity and fluid abilities: Examining the correlation between operation span and Raven. *Intelligence, 33*, 67-81.

Valenzuela, M. J., & Sachdev, P. (2006). Brain reserve and cognitive decline: A non-parametric systematic review. *Psychological Medicine, 36*, 1065–1074.

Van der Linden, M., Hupet, M., Feyereisen, P., Schelstraete, M. A., Bestgen, Y., Bruyer, R., ... & Seron, X. (1999). Cognitive mediators of age-related differences in language comprehension and verbal memory performances. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 6*, 32-55.

Villeneuve, S., Belleville, S., Massoud, F., Bocti, C., & Gauthier, S. (2009). Impact of vascular risk factors and diseases on cognition in persons with mild cognitive impairment. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders, 27*, 375-381.

Wechsler, D. (2011). Administration and scoring manual: Wechsler Adult Intelligence Scale, Fourth Edition. San Antonio, TX: Psychological Corporation.

Wilson, R.S., Barnes, L.L., & Bennett, D.A. (2007). Assessment of lifetime participation in cognitively stimulating activities. In Y. Stern (Ed.), *Cognitive Reserve: Theory and Applications* (pp. 159-172). New-York, NY: Taylor and Francis group.

Wilson, R. S., Segawa, E., Boyle, P. A., & Bennett, D. A. (2012). Influence of late-life cognitive activity on cognitive health. *Neurology, 78*, 1123-1129.

Yesavage, J.A., Brink, T.L., Rose, T.L., Lum, O., Huang, V., Adey, M., & Leirer, V.O. (1982). Development and validation of a geriatric depression screening scale: a preliminary report. *Journal of Psychiatric Research, 17* (1), 37-49.

Zahodne, L. B., Glymour, M. M., Sparks, C., Bontempo, D., Dixon, R. A., MacDonald, S. W.

S., & Manly, J. J. (2011). Education does not slow cognitive decline with aging: 12-year evidence from the Victoria longitudinal study. *Journal of the International Neuropsychological Society, 17*, 1039–1046.

Chapitre IV

Discussion générale

4.1 Rappel des objectifs et synthèse des résultats

Ce travail de thèse examine les effets du vieillissement normal et l'effet protecteur de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur le déclin de la MDT sur une période de 5 ans. Notre travail est basé sur le modèle de Miyake et collaborateurs (2000) qui proposent un fractionnement de l'administrateur central en trois FCA : l'inhibition, l'alternance et la mise à jour. Notre premier objectif était d'examiner les effets du vieillissement normal sur le déclin de la MDT et des FCA qui la sous-tendent et ainsi de préciser si les changements liés à l'âge sur ces fonctions cognitives sont sélectifs ou généralisés à l'ensemble des tâches et composantes. Un objectif secondaire était de déterminer si le changement sur 5 ans des participants jeunes-âgés (moyenne d'âge au Temps 1 : 65,79) était similaire à celui présenté par les âgés-âgés (moyenne d'âge au Temps 1 : 75). Après avoir examiné les changements liés à l'âge sur la MDT, notre objectif majeur était d'explorer l'effet protecteur de deux facteurs sur le déclin de la MDT : l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes. La théorie co-constructiviste de P.B. Baltes (P.B. Baltes et al., 2006; P.B. Baltes et al., 1999) suggère que les habiletés fluides telles que la MDT sont davantage contraintes par des facteurs biologiques et donc moins sujettes aux effets protecteurs de facteurs externes. Cependant, cette théorie postule également que pendant la période du vieillissement, les facteurs culturels pourraient compenser l'affaiblissement des habiletés fluides. Deux objectifs additionnels étaient de préciser si l'effet de ces deux facteurs était indépendant et si leur impact sur la MDT différait selon l'âge des participants. Dans cette dernière section, les résultats principaux obtenus dans les deux articles empiriques seront résumés (sections 4.1.1 et 4.1.2), seront ensuite discutés les implications théoriques des résultats obtenus et les implications cliniques. Puis, les limites de ce travail seront abordées pour ouvrir enfin sur les perspectives futures.

4.1.1 Synthèse des résultats pour l'article 1

L'objectif de la première étude était d'examiner les effets du vieillissement normal sur le déclin de la MDT et des FCA sur une période de 5 ans. Pour cela, nous avons administré à 40 participants âgés de 59 à 83 ans au Temps 1 trois tâches complexes de MDT (empan de phrases, Brown-Peterson et empan alphabétique) et plusieurs mesures visant à évaluer les

FCA – inhibition, alternance, mise à jour – deux fois à 5 ans d’intervalle et avons comparé les résultats obtenus par des jeunes-âgés à ceux des âgés-âgés. Une des forces de cette étude est d’avoir utilisé un plan expérimental longitudinal permettant d’observer des changements liés à l’âge au sein du vieillissement normal. De plus, séparer les jeunes-âgés des âgés-âgés nous a permis de comparer le déclin sur 5 ans de chacun de ces groupes d’âge. Enfin, nous avons examiné les effets du vieillissement sur la MDT et sur les FCA selon le modèle de Miyake et collaborateurs (2000), permettant ainsi de déterminer si les effets de l’âge sont sélectifs ou généralisés.

Une de nos hypothèses était qu’un déclin serait visible pour l’ensemble des participants et ce malgré un intervalle longitudinal relativement court de 5 ans. De plus, nous pensions que le déclin serait davantage visible pour la tâche d’empan de phrases et la composante inhibition que pour les autres tâches de MDT et FCA. Enfin, nous pensions que les âgés-âgés présenteraient un déclin plus marqué que les jeunes-âgés.

Nos résultats ont appuyé notre première hypothèse ; les effets du vieillissement normal sont visibles sur seulement 5 ans sans égard à l’âge. Notre deuxième hypothèse a été partiellement confirmée puisque nous nous attendions à un déclin plutôt sélectif alors que notre étude met en évidence un déclin généralisé pour la MDT complexe et les FCA. En effet, les participants présentent un déclin pour l’ensemble des trois tâches complexes de MDT. Concernant les FCA, un déclin significatif est observé pour l’inhibition et l’alternance. En revanche, les capacités de mise à jour demeurent stables. Notre troisième hypothèse n’a pas été confirmée. Nos résultats suggèrent en effet que le déclin n’est pas plus important avec l’âge ; les âgés-âgés présentent un déclin équivalent à celui des jeunes-âgés pour l’ensemble des tâches de MDT et des FCA.

En résumé, nos résultats suggèrent que sur 5 ans le vieillissement normal est associé à un déclin généralisé en MDT complexe et concernant les FCA (inhibition et alternance). Ils mettent également en évidence un déclin équivalent entre les jeunes-âgés et les âgés-âgés. L’impact de ces résultats est discuté aux sections 4.2.1 et 4.2.2.

4.1.2 Synthèse des résultats pour l'article 2

L'objectif de la seconde étude était d'examiner l'effet protecteur de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur le déclin de la MDT au sein du vieillissement normal. Pour cela, nous avons caractérisé les 40 participants quant à l'éducation formelle qu'ils avaient reçue tôt dans la vie et quant à leur participation récente à des activités cognitivement stimulantes. Nous avons combiné le nombre initial d'années d'études complétées des participants avec leur score à une épreuve de vocabulaire (WAIS-IV ; Wechsler, 2011) pour obtenir un score d'éducation et nous leur avons proposé un questionnaire explorant leur pratique d'activités cognitivement stimulantes dans les deux dernières années (section « Novel information processing » du questionnaire du VLS ; Hertzog et al., 1999; Hultsch et al., 1993; Hultsch et al., 1999). Nous avons examiné la relation entre l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur la performance et le déclin pour trois tâches complexes de MDT (empan de phrases, Brown-Peterson et empan alphabétique). Nous avons choisi de n'utiliser ici que les tâches complexes de MDT car elles reflètent les fonctions cognitives nécessaires à la réalisation de nombreuses activités cognitives complexes telles que la compréhension, le raisonnement ou la résolution de problèmes (Engle, 2002). De plus, le déclin du fonctionnement cognitif général avec l'avancée en âge dépendrait, selon certains auteurs, de la capacité en MDT (Baddeley, 1986; Hasher & Zacks, 1988; Kirasic et al., 1996; Van der Linden et al., 1999). Ainsi, la MDT est une fonction centrale au sein du fonctionnement cognitif et il nous a donc paru important de focaliser notre attention sur les tâches qui reflètent ce construit. Une des forces de notre étude est de pouvoir comparer l'effet de deux facteurs de protection qui représentent des expériences cognitives acquises à différents moments de la vie. L'éducation représente les expériences cognitives acquises tôt dans la vie alors que la pratique d'activités cognitivement stimulantes représente les expériences acquises plus tardivement. Nous souhaitons déterminer si l'impact de ces facteurs sur la MDT était différent selon l'âge des participants. Nous souhaitons également explorer l'éventuelle présence d'une interaction entre les facteurs de protection.

Une de nos hypothèses était que la pratique d'activités cognitivement stimulantes aurait un effet protecteur sur le déclin de la MDT. En revanche, nous pensions que l'éducation n'aurait pas ou peu d'effet protecteur sur le déclin de la MDT. Une seconde hypothèse était que l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes auraient un effet indépendant sur la MDT. Enfin, de manière exploratoire, nous émettions l'hypothèse que l'effet protecteur de l'éducation pourrait être différent chez les jeunes-âgés et les âgés-âgés, donnant un certain avantage aux jeunes-âgés. Aucune hypothèse n'était formulée quant à la potentielle interaction entre la pratique d'activités cognitivement stimulantes et l'âge.

Nos résultats ont partiellement confirmé notre première hypothèse concernant l'effet de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes. En effet, l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes semblent protéger du déclin à la tâche de Brown-Peterson. Nos résultats ont aussi confirmé que l'effet d'éducation protège différemment les jeunes-âgés des âgés-âgés. En effet, le niveau d'éducation semble protéger du déclin au début du vieillissement puis l'effet positif se dissipe laissant même place à un déclin plus marqué chez les jeunes-âgés les plus éduqués que chez les âgés-âgés les plus éduqués. Aucune interaction n'a été mise en évidence entre l'âge et la pratique d'activités cognitivement stimulantes indiquant que l'effet protecteur est présent peu importe l'âge. Enfin nos résultats ne révèlent aucune corrélation ni interaction entre l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes, ce qui confirme notre hypothèse stipulant que ces deux facteurs sont relativement dissociés et ont des effets indépendants sur la MDT.

En résumé, l'effet protecteur de l'éducation et des activités cognitivement stimulantes a été démontré sur la seule tâche de Brown-Peterson. Ces deux facteurs agissent de manière indépendante. L'effet protecteur de l'éducation est présent tôt dans le vieillissement mais disparaît ensuite, contribuant même à un déclin plus important chez les jeunes-âgés les plus éduqués que chez les âgés-âgés. L'effet protecteur de la pratique d'activités cognitivement stimulantes est visible plus tard mais perdure tout au long de la période du vieillissement quel que soit l'âge. Ces résultats seront discutés dans les sections 4.2.3 à 4.2.8.

4.2 Implications théoriques de la thèse

4.2.1 Effets du vieillissement normal sur la mémoire de travail et les fonctions de contrôle attentionnel

Notre objectif majeur était d'examiner les effets du vieillissement normal sur le déclin de la MDT et des FCA sur 5 ans. A notre connaissance, notre étude est la seule à utiliser un plan longitudinal à cet effet et à comparer les effets du vieillissement à la fois sur le déclin de la MDT et des FCA qui la sous-tendent. Nous nous sommes basés sur le modèle de fractionnement de la MDT proposé par Miyake et collaborateurs (2000) qui est aujourd'hui largement utilisé et a été répliqué chez des personnes âgées (Fisk et Sharp, 2004; Sylvain-Roy et al., 2015a). Ce modèle postule qu'au moins trois FCA sous-tendent la MDT complexe : l'inhibition, l'alternance et la mise à jour. Ces trois FCA étant relativement indépendantes les unes des autres même au sein du vieillissement, l'effet de l'âge pourrait être différent sur chacune d'elles. Afin d'examiner les effets du vieillissement sur le déclin de la MDT, nous avons fait appel à trois tâches complexes de MDT : l'empan de phrases, le paradigme de Brown-Peterson et l'empan alphabétique.

4.2.1.1 Déclin en mémoire de travail complexe

Nos résultats mettent en évidence un déclin significatif et généralisé aux trois tâches complexes de MDT sur seulement 5 ans. Ces résultats appuient les rares données longitudinales mettant en évidence un déclin de la MDT observable sur une courte période (3 à 6,5 ans d'intervalle ; Hultsch et al., 1992; Singer et al., 2003). Nos résultats témoignent de la fragilité de la MDT avec l'avancée en âge et sont d'autant plus importants lorsqu'on connaît la place que tient la MDT au sein du fonctionnement cognitif. En effet, la MDT est impliquée dans la réalisation de nombreuses activités complexes de la vie quotidienne et est fortement liée aux capacités intellectuelles (Engle, et al., 1999; Hockey & Geffen, 2004; Unsworth & Engle, 2005), de raisonnement (Kyllonen & Christal, 1990; Süß et al., 2002) et aux compétences langagières (Kemper et al., 2004). Elle contribue au maintien de l'autonomie (Lauverjat et al., 2005) et son affaiblissement expliquerait, au moins en partie, le déclin lié à l'âge dans de nombreuses sphères cognitives (Baddeley, 1986; Kirasic et al., 1996; Van der

Linden et al., 1999). De plus, certaines études en psychologie clinique ont mis évidence que la capacité de MDT était liée à la capacité de gérer les évènements de vie stressants (Klein & Boals, 2001) ; les personnes présentant une plus grande capacité de MDT seraient davantage capables de gérer ces stressors. Dans la même veine, Arnett et collaborateurs (1999) avaient montré que les personnes dépressives présentaient une moins bonne capacité de MDT que les personnes non dépressives. Ainsi, la MDT est un construit crucial au sein du fonctionnement cognitif mais également au sein du fonctionnement psychologique et une atteinte de cette fonction peut avoir un impact sur de nombreuses sphères. Il est tout de même important de nuancer nos résultats. On observe en effet que la magnitude du déclin est de taille petite à modérée pour l'ensemble des épreuves administrées (d de Cohen $< 0,5$; de 0,30 à 0,48) ce qui indique que le déclin est significatif mais pas majeur. Autrement dit, le déclin est présent mais il n'est peut être pas encore susceptible d'avoir un impact visible sur le fonctionnement quotidien ; sur la réalisation de tâches complexes au quotidien.

Il est intéressant de constater que nos résultats ne sont que partiellement en accord avec les études transversales. En effet, nos résultats concernant le déclin à la tâche d'empan de phrases sont cohérents avec de nombreuses études transversales qui observent un effet négatif de l'âge (Meguro et al., 2000; Sylvain-Roy et al., 2015a). Cependant, plusieurs études transversales ayant utilisé l'empan alphabétique ou le paradigme de Brown-Peterson n'observent pas ou peu d'effet d'âge (pour l'empan alphabétique voir Belleville et al., 1998; Lamar et al., 2002; pour la tâche de Brown-Peterson voir Belleville et al., 1996; Bherer, Belleville, & Peretz, 2001) alors que nous observons un déclin significatif. Une hypothèse explicative est que les études transversales peuvent sous-estimer les effets d'âge. En effet, comme mentionné plus haut, les résultats transversaux ont tendance à confondre les effets réellement dus à l'âge aux effets liés à la génération. Or, bien que dans la plupart des domaines cognitifs les générations les plus jeunes surpassent les générations les plus âgées, il arrive aussi d'observer une supériorité des générations les plus anciennes. Par exemple, plusieurs auteurs ont mis en évidence une tendance à la supériorité des générations anciennes par rapport aux jeunes dans des domaines tels que les habiletés numériques ou grammaticales (Alwin, 1991; Glenn, 1994; Schaie et al., 2005). Les différences cognitives observées entre les générations proviennent notamment des changements dans les techniques d'apprentissage et

de l'accès aux nouvelles technologies. Par exemple, l'utilisation des calculatrices est largement répandue dans les milieux scolaires actuels comparés aux générations scolarisées dans les années 1950. Il en va de même avec l'utilisation des ordinateurs qui disposent de logiciels proposant des corrections automatiques, ce qui n'était pas le cas avec les générations plus anciennes. Les tâches d'empan alphabétique et de Brown-Peterson reposent sur des apprentissages académiques : connaissances alphabétique et numérique (voir Mertens, Gagnon, Coulombe, & Messier, 2006). Il est donc possible que les techniques d'apprentissage avantagent les générations plus anciennes dans ces domaines. Ainsi, en confondant les effets liés à l'âge et les effets générationnels (ici un avantage aux générations anciennes) les résultats issus d'études transversales pourraient sous-estimer les effets du vieillissement. Il faut aussi souligner que le plan longitudinal est reconnu pour avoir davantage de puissance que les plans transversaux parce qu'il minimise la variabilité intra-sujets et le terme d'erreur, ce qui donne du poids à nos résultats. Enfin, notre étude 2 apporte un éclairage intéressant et nous permet de proposer une hypothèse alternative pour expliquer la différence de résultats entre notre étude et les études transversales qui n'ont pas observé d'effet du vieillissement à la tâche de Brown-Peterson. Cette hypothèse sera discutée à la section 4.2.9, après que nous ayons exposé nos résultats de l'étude 2.

4.2.1.2 Déclin des fonctions de contrôle attentionnel

Concernant les FCA, nos résultats mettent en évidence un déclin des habiletés d'inhibition avec l'avancée en âge, ce qui est cohérent avec de nombreuses études qui suggèrent même que l'inhibition serait une des premières fonctions cognitives affectées par le vieillissement et que son déclin pourrait expliquer une grande partie des atteintes cognitives des aînés (Hascher & Zacks, 1988). Nos résultats indiquent également un déclin des capacités d'alternance globale et locale avec l'avancée en âge. Ces résultats diffèrent de ce qui a été observé par l'équipe de Sylvain-Roy (2015a). Cependant, la comparaison de nos résultats avec les leurs s'avère difficile puisque ces derniers ont calculé un score composite de l'alternance alors que nous avons décomposé les tâches pour créer un score d'alternance locale et globale. Nos résultats vont dans le sens de nombreuses études transversales qui confirment un effet de l'âge sur les habiletés d'alternance globale (voir Wasylyshyn et al., 2011). En revanche, les

études concernant l'alternance locale rapportent des résultats divergents et plusieurs explications sont possibles pour rendre compte de ces divergences. Par exemple alors que Kray et Lindenberger (2000) ont mis en évidence un cout d'alternance globale supérieur à celui d'alternance locale chez des personnes âgées, deux ans plus tard, ils ont rapporté des résultats opposés (Kray, Li, & Lindenberger, 2002). En augmentant le nombre de tâches devant être réalisées en alternance, les auteurs ont mis en évidence un cout d'alternance locale supérieure au cout d'alternance globale chez des personnes âgées. Par ailleurs, l'occurrence des essais alternés dans les blocs mixtes peut également avoir un impact sur les performances ; ceux-ci peuvent être alternés ou randomisés, or l'incertitude liée aux essais randomisés est associée à des couts d'alternance plus importants (voir par exemple Cooper, Garrett, Rennie, & Karayanidis, 2015). Enfin, certaines tâches impliquent la présence d'un indice qui semble facilitateur pour les personnes âgées (Kray, 2006). Ces considérations nous ont poussé à décortiquer notre score composite d'alternance locale et nous observons un déclin significatif à la tâche « number/letter » ($p = .03$; Rogers & Monsell, 1995) mais pas à la tâche « left/right shifting » ($p = .09$; Belleville et al., 2008). Dans la première tâche, les participants voyaient apparaître une paire composée d'un chiffre et d'une lettre et ils devaient porter attention au chiffre ou à la lettre dépendamment de leur position dans l'écran. Les participants devaient ensuite indiquer si la lettre était une consonne ou une voyelle ou si le chiffre était pair ou impair. Cette tâche implique une charge importante en MDT (position de la paire dans l'écran, chiffre ou lettre, paire/impair ou consonne/voyelle), au vu des données de Kray et al., (2002), il n'est pas surprenant que l'on observe un déclin lié à l'âge à cette tâche. En revanche, lors de la seconde tâche, un indice visuel incitait les participants à identifier un chiffre à droite ou à gauche de l'écran et ce jusqu'à ce qu'un autre indice apparaisse du côté opposé. Là encore, compte tenu des données rapportées par Kray (2006), il n'est pas surprenant que les personnes âgées soient moins sensibles à cette tâche. Finalement, nos résultats suggèrent une stabilité des habiletés de mise à jour sur 5 ans, ce qui est compatible avec plusieurs études transversales (Radvansky et al., 2003; Verhaeghen et al., 2005). Par exemple, l'étude transversale de Sylvain-Roy et collaborateurs (2015a) ne mettait en évidence aucune différence entre de jeunes adultes (moyenne d'âge : 23,7) et des âgés (moyenne d'âge : 70,9). Il est possible que ces habiletés déclinent plus tardivement que l'inhibition ou l'alternance. Il serait intéressant d'étudier longitudinalement les habiletés de mise à jour chez des personnes à un âge avancé

(85 ans et plus) afin de déterminer à quel moment ces habiletés déclinent. Nous notons aussi que parmi les tâches complexes de MDT, l'empan de phrases est celle dont la magnitude de déclin est la plus petite (d de Cohen = 0,30). Or, Fisk et Sharp (2004) de même que Sylvain-Roy et collaborateurs (2015a) ont mis en évidence que les performances à cette tâche chez des personnes âgées étaient corrélées aux capacités de mise à jour. Il est donc possible que le maintien des capacités de mise à jour observé dans notre étude au sein du vieillissement explique, au moins en partie, le plus faible déclin observé à la tâche d'empan de phrases comparé aux autres tâches de MDT. Le déclin généralisé observé à la fois aux tâches de MDT et de FCA (inhibition, alternance locale et globale) est en accord avec le modèle de Miyake et collaborateurs (2000) qui postule que les FCA sous-tendent les performances aux tâches de MDT.

4.2.2 Profil de déclin chez les jeunes-âgés et les âgés-âgés

Un autre objectif était de comparer le changement cognitif sur 5 ans des jeunes-âgés et des âgés-âgés ; nous souhaitons explorer la possibilité que les âgés-âgés présentent davantage de déclin que les jeunes-âgés. Cependant, nos résultats suggèrent que ce n'est pas le cas. En effet, on n'observe pas de plus grand déclin dans le groupe des âgés-âgés et ce tant pour les tâches complexes de MDT que pour les FCA. Ces résultats peuvent paraître surprenants compte tenu des études et théories qui suggèrent une accélération des changements cognitifs avec l'avancée en âge (P.B. Baltes et al., 1999; Hulstsch et al., 1992; Singer et al., 2003). Plusieurs explications sont possibles. La première serait la possibilité d'une attrition sélective, en effet les participants les plus fragiles sur le plan de la santé ou sur le plan cognitif ont tendance à abandonner davantage que les autres (Radler & Ryff, 2010; Salthouse, 2014). Ainsi, si le groupe âgés-âgés était composé uniquement des participants les plus résistants sur le plan cognitif alors on peut penser que l'attrition sélective explique le profil similaire entre les jeunes-âgés et les âgés-âgés. Cependant lorsqu'on compare les personnes qui ne sont pas revenues au Temps 2 et celles qui ont été revues, on remarque d'abord que le nombre d'âgés-âgés ayant abandonné est similaire à celui des jeunes-âgés ($n = 15$ versus $n = 17$ respectivement). Ensuite, quel que soit l'âge des participants, les mesures cognitives des personnes qui n'ont pas été revues au Temps 2 étaient similaires à celles qui ont poursuivi

l'étude. La seule différence concernait les mesures de santé, en effet les participants qui n'ont pas été revus au Temps 2 rapportaient une moins bonne santé que celles ayant poursuivi l'étude. Notons toutefois que cette différence était valable tant pour les jeunes-âgés qui ne sont pas revenus que pour les âgés-âgés. Ainsi, l'attrition sélective ne semble pas pouvoir expliquer la similarité du déclin entre les deux groupes d'âges. Une autre hypothèse explicative concerne l'effet test-retest inhérent aux plans longitudinaux. Les âgés-âgés pourraient avoir davantage bénéficié de cet effet d'apprentissage, ce qui pourrait expliquer que leur déclin soit similaire à celui des jeunes-âgés. Cependant, plusieurs auteurs indiquent que ces effets sont moins sujets à apparaître lorsque l'intervalle entre deux mesures est d'au moins 5 ans (Rönnlund, Nyberg, Bäckman, & Nilsson, 2005; Schaie, 2013), ce qui est le cas dans notre étude. De plus, l'âge est généralement associé à une réduction de la mémoire épisodique et il est donc difficile de penser que les âgés-âgés auraient un plus grand effet test-retest que les jeunes. Ainsi, le fait de n'observer aucune différence de déclin entre les jeunes-âgés et les âgés-âgés semble difficilement explicable par un effet d'apprentissage. Une dernière explication nous semble davantage plausible. La plupart des études qui mettent en évidence un déclin plus prononcé autour de 75 ans sont relativement anciennes et ont été réalisées dans les années 1970 jusqu'au début des années 1990 (VLS; Hultsch et al., 1992; SLS; Schaie & Strother, 1968). Or, les personnes âgées de 75 ans en 1990 sont probablement différentes de celles âgées de 75 ans en 2015. Nos participants sont nés entre 1924 et 1947 et ont grandi pendant ou après la guerre alors que ceux des études précédentes ont grandi avant la guerre. Les participants de notre étude ont donc possiblement bénéficié de conditions plus favorables. De plus, les personnes âgées sont maintenant davantage informées sur la manière de préserver leur santé cognitive et ont davantage d'opportunités : un accès à des métiers et loisirs stimulants, un accès facilité aux nouvelles technologies, à des programmes de stimulation cognitive, etc. Leur santé physique est également meilleure, l'espérance de vie ayant augmenté de près de 10 ans au cours des 25 dernières années. Tout cela peut favoriser une certaine homogénéisation des trajectoires cognitives entre les générations proches. D'ailleurs, chez des jeunes adultes, Grégoire (2006) rapporte que la courbe de rendement intellectuel en Norvège, en France et aux États-Unis montre un fléchissement par rapport à la courbe de progression qui avait été montrée par Flynn (l'effet Flynn; 1989). Il est donc possible qu'un seuil « plafond » ait été atteint et que les différences interindividuelles entre les générations les plus proches s'amenuisent avec le

temps. Il s'agit ici de jeunes adultes mais on peut imaginer que l'uniformisation des systèmes éducatifs, l'accès facilité aux nouvelles technologies, à l'information, aux réseaux sociaux, au système de santé, puissent également favoriser une harmonisation du fonctionnement cognitif des générations les plus proches chez les plus âgés. Tout cela peut jouer un rôle important sur le moment où le déclin cognitif devient davantage marqué. Une personne de 75 ans aujourd'hui est certainement plus jeune sur le plan cognitif qu'une personne de 75 ans il y a 20 ou 30 ans et l'accélération du déclin pourrait avoir été repoussée. Concernant notre étude, il est tout à fait possible que l'étendue de l'âge des participants (59-83 ans au Temps 1) ne nous permette pas de capturer ce moment où le déclin devient plus marqué.

4.2.3 Effets protecteurs sur le mémoire de travail

Un de nos objectifs principaux était d'évaluer l'effet protecteur de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur la MDT. Nos résultats mettent en évidence un effet positif de ces deux facteurs sur la tâche de Brown-Peterson. Nos résultats ont une portée particulièrement importante compte tenu du rôle crucial de la MDT au sein du fonctionnement cognitif et de son impact sur le déclin cognitif global. En effet, mettre en lumière des facteurs qui protègent du déclin de la MDT pourrait contribuer à retarder l'apparition du déclin cognitif général ainsi que son impact sur le fonctionnement quotidien et sur l'autonomie. De plus en plus de chercheurs s'intéressent aux effets protecteurs des expériences cognitives sur le déclin lié à l'âge et de nombreuses théories fleurissent. Par exemple, l'*hypothèse de l'engagement* suggère que s'engager dans la pratique d'activités intellectuelles a un effet positif sur le fonctionnement cognitif et peut protéger du déclin cognitif lié à l'âge (Schooler & Mulatu, 2001). D'autres théories comme l'originale *hypothèse de Dumbledore* (Stine-Morrow, 2007) postule que la santé cognitive dans le vieillissement normal serait davantage tributaire de nos choix d'engagement dans des activités intellectuellement exigeantes que des processus biologiques. Enfin, l'hypothèse du « *Use it or lose it* » consiste à dire que le maintien d'un certain niveau de fonctionnement cognitif dans le vieillissement dépend de la richesse du style de vie et particulièrement de la pratique d'activités intellectuelles (Hultsch et al., 1999, Salthouse, 2006). Ces théories peuvent être appuyées ou controversées mais l'idée sous jacente commune est que la pratique d'activités

intellectuelles semble avoir un rôle important à jouer sur le fonctionnement cognitif au sein du vieillissement normal.

Plusieurs études avaient déjà suggéré qu'un style de vie favorable pouvait protéger des atteintes cognitives liées au vieillissement normal (Arbuckle et al., 1998; Hultsch et al., 1999; Small, Dixon, McArdle, & Grimm, 2012; Wilson, Segawa, Boyle, & Bennett, 2012). Cependant, ces études ne portaient que sur un facteur de protection, ne permettant aucune comparaison d'effet. L'originalité de notre étude est qu'elle permet de comparer les effets de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur la MDT ; ces deux facteurs représentant des expériences cognitives acquises à des moments différents de la vie. Nos résultats suggèrent une indépendance de ces deux facteurs. En effet, nous n'avons observé ni corrélation entre ces deux facteurs ni interaction, ce qui est cohérent avec les résultats des études de Lachman et collaborateurs (2010) et de Lee et Chi (2016) et suggère que l'effet protecteur de l'éducation et des activités cognitivement stimulantes n'est pas cumulatif et qu'il n'y a pas d'effet modérateur de l'un sur l'autre. De plus, nos résultats indiquent que l'effet positif de l'éducation sur la tâche de Brown-Peterson survient tôt dans le vieillissement mais qu'il se dissipe alors que l'effet des activités cognitivement stimulantes apparaît plus tardivement mais protège du déclin tout au long de la période du vieillissement pour cette même tâche. Autrement dit, les effets de ces deux facteurs sont visibles à des moments différents, ils pourraient donc protéger à travers des mécanismes cérébraux et/ou cognitifs différents et à cet égard la notion de réserve est particulièrement intéressante. Nous reviendrons plus loin (sections 4.2.5 et 4.2.6) sur les raisons qui pourraient expliquer le décalage temporel différent des effets protecteurs sur la MDT.

4.2.4 Notion de réserve

Le concept de réserve est relativement récent et a été proposé pour rendre compte de la variabilité interindividuelle visible tant chez des personnes présentant des pathologies que chez des personnes âgées saines. En effet, alors que certaines personnes présentent un déclin du fonctionnement cognitif, d'autres au même âge présentent un déclin moins important voire maintiennent plus longtemps certaines habiletés. Il existe deux grands modèles théoriques de la réserve : la réserve passive et la réserve active (Stern, 2002; 2009). Les modèles de réserve

passive (ou réserve cérébrale) suggèrent que certaines caractéristiques *structurelles* telles que la taille du cerveau, le nombre de neurones ou de connexions synaptiques seraient à l'origine de la variabilité entre les individus. Ces modèles passifs de réserve sont associés à la théorie du seuil (Satz, 1993) qui postule que les caractéristiques structurelles ne protégeraient que jusqu'à un certain point. A partir de ce seuil, le déclin cognitif serait alors visible. De leur côté, les modèles de réserve active (ou réserve cognitive) postulent que certaines caractéristiques *fonctionnelles* expliqueraient la variabilité interindividuelle. Ces modèles suggèrent qu'une réserve cognitive permettrait un recrutement plus efficace et plus flexible de réseaux neuronaux existants ou nouveaux. De très nombreuses études se sont intéressées aux effets de la réserve dans le cadre de pathologies neurodégénératives (Scarmeas, Levy, Tang, Manly, & Stern, 2001; Pernecky, Diehl-Schmid, Drzezga, & Kurz, 2006) mais Stern (2007) suggère que l'on peut parler de réserve dès lors qu'il y a des changements cérébraux qui peuvent avoir un impact sur le fonctionnement cognitif, ce qui est le cas dans le vieillissement normal. Ainsi, une certaine réserve pourrait protéger des effets du vieillissement normal sur le fonctionnement cognitif. Notons que la réserve ne peut se mesurer en tant que telle mais certains facteurs tels que l'éducation ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes sont fréquemment associés à la réserve et constituent des marqueurs de réserve. A ce jour, et malgré un très grand intérêt des chercheurs pour les facteurs de protection, il est encore difficile d'en saisir tous les mécanismes sous jacents. Cependant, l'indépendance entre l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes ainsi que leur décours temporel distinct observés dans notre étude 2 nous permet de poser l'hypothèse que les expériences cognitives contribuent de manière différente à la réserve.

4.2.5 Indépendance des facteurs de protection expliquée dans le contexte de la réserve

En utilisant une technique d'imagerie structurelle, Foubert-Samier et son équipe (2012) ont observé une corrélation positive entre un haut niveau d'éducation et le volume de matière grise au niveau des lobes temporo-pariétaux (principalement à gauche) et orbitofrontaux bilatéralement chez des personnes âgées de 65 ans et plus. En revanche, dans le même échantillon de participants, les auteurs n'ont montré aucun lien entre la pratique d'activités

cognitivement stimulantes et des caractéristiques cérébrales. Les résultats de cette étude appuient notre observation d'indépendance des effets de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes et suggèrent que ces deux facteurs contribueraient différemment à la réserve. En effet, les auteurs avancent l'idée que l'éducation contribuerait davantage à la réserve cérébrale (caractéristiques structurelles) alors que la pratique d'activités cognitivement stimulantes contribuerait davantage à la réserve cognitive (caractéristiques fonctionnelles). Dans la perspective des modèles de réserve évoqués plus haut, l'éducation permettrait donc un maintien des performances cognitives jusqu'à un certain seuil. Seuil auquel les caractéristiques structurelles du cerveau ne seraient plus assez efficaces pour pallier aux changements cérébraux et cognitifs liés à l'âge. A l'inverse, la pratique d'activités cognitivement stimulantes aurait un effet protecteur sur le déclin cognitif lié à l'âge via l'utilisation plus efficace et flexible des réseaux neuronaux existants et/ou en permettant le recrutement de ressources additionnelles (réseaux neuronaux ou stratégies cognitives). Notons que contribuer davantage à la réserve cérébrale ou à la réserve cognitive ne signifie pas exclusivement. Il est possible qu'un facteur ait un impact sur les caractéristiques structurelles et fonctionnelles du cerveau mais que son effet protecteur s'exprime davantage via l'un ou l'autre. Une autre hypothèse qui mériterait d'être évaluée empiriquement est que l'éducation pourrait avoir un effet sur les réseaux neuronaux *existants* en augmentant leur efficacité et/ou leur capacité alors que les activités cognitivement stimulantes pourraient davantage s'exprimer par des mécanismes compensatoires en recrutant des *nouveaux* réseaux cérébraux et/ou stratégies comportementales. Selon Steffener et ses équipes (Steffener, Reuben, Rakitin, & Stern, 2011; Steffener & Stern, 2012), lorsque les réseaux existants, aussi appelés "réseaux primaires" ne sont plus efficaces, les personnes âgées recruteraient des réseaux additionnels appelés « réseaux secondaires » afin de maintenir un fonctionnement cognitif adéquat. Dans le cas de notre étude, l'éducation pourrait donc protéger le fonctionnement cognitif jusqu'à ce que les réseaux primaires ne soient plus assez efficaces. Une fois ces ressources épuisées, les personnes âgées utiliseraient d'autres facteurs de protection à leur disposition comme leur pratique d'activités cognitivement stimulantes grâce à laquelle ils recruteraient de nouvelles ressources qu'elles soient neuronales (réseaux alternatifs) ou comportementales (stratégies cognitives) et ainsi compenseraient le déclin cognitif lié à l'âge. Ces hypothèses selon lesquelles les facteurs de protection ne protégeraient pas via les mêmes mécanismes pourraient

expliquer le décours temporel spécifique que nous observons pour l'effet de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes dans notre étude 2.

4.2.6 Moment d'acquisition des facteurs de protection

Somme toute, nos résultats et ceux d'autres études suggèrent que l'effet protecteur des expériences cognitives pourrait ne pas s'exprimer par les mêmes mécanismes. Cela pourrait être du au fait que l'un représente les expériences cognitives acquises tôt dans la vie (éducation) alors que l'autre reflète les expériences cognitives acquises plus tard (activités cognitivement stimulantes). En effet, il est possible que le moment auquel on acquiert des expériences cognitives contribue à définir le mécanisme par lequel ces expériences vont s'exprimer. Par exemple, l'éducation acquise tôt dans la vie intervient à un moment où la plasticité cérébrale est à son apogée, il est donc probable qu'elle ait un grand impact sur les structures cérébrales. En revanche, la pratique d'activités cognitivement stimulantes survient plus tard dans la vie – dans notre étude elle est évaluée dans les deux dernières années – et pourrait davantage influencer la manière dont les personnes âgées utilisent leurs réseaux neuronaux plutôt que les structures cérébrales. La pratique d'activités cognitivement stimulantes pourrait permettre d'acquérir un éventail de stratégies cognitives et/ou de construire de nouveaux réseaux neuronaux et ceux-ci pourraient être maintenus grâce à la poursuite de la pratique d'activités cognitivement stimulantes. D'autres auteurs comme Parisi et collaborateurs (2012) suggèrent également que les facteurs de protection acquis tôt dans la vie pourraient avoir un plus grand impact sur les structures cérébrales alors que les facteurs acquis tout au long de la vie auraient un rôle davantage compensatoire face au déclin lié à l'âge. Finalement, l'accès – facilité ou pas – aux expériences cognitives peut également contribuer à l'indépendance ou à l'interrelation de ces deux facteurs. En effet, il est probable qu'une personne ayant eu accès facilement à l'éducation étant jeune s'engage plus volontiers dans des activités cognitivement stimulantes tout au long de sa vie qu'une personne n'ayant pas eu accès à l'éducation. Or, dans notre étude, les participants étaient des Québécois francophones nés entre 1924 et 1951 pour lesquels l'accès à l'éducation n'était pas aussi aisé qu'il ne l'est aujourd'hui. Puis, les années 1960 ont été marquées par la Révolution tranquille qui a eu un impact important dans plusieurs domaines et qui a notamment permis de favoriser

l'accès aux activités culturelles. Cette différence entre un faible accès à l'éducation dans l'enfance et un accès facilité aux activités culturelles plus tard dans la vie pourrait contribuer à expliquer que l'éducation ne soit pas associée à la pratique d'activités cognitivement stimulantes chez nos participants. Ces derniers et plus généralement les Québécois francophones de cette génération n'avaient pas un accès facile au système éducatif, en revanche ils ont été encouragés à s'engager dans des activités culturelles. En résumé, plusieurs facteurs pourraient contribuer à l'indépendance ou l'interrelation entre les facteurs de protection : des aspects structurels, fonctionnels mais également générationnel.

4.2.7 Effet sélectif des facteurs de protection

Notre travail insiste pour analyser l'effet de facteurs de protection sur trois tâches complexes de MDT et non sur un score composite. Nous avons fait ce choix en raison des études qui montrent que ces tâches reposent sur des processus cognitifs et neurobiologiques différents (Collette et al., 1999; Sylvain-Roy et al., 2015a). L'effet protecteur de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes s'est révélé visible uniquement sur la tâche de Brown-Peterson, ni la tâche d'empan de phrases ni celle d'empan alphabétique n'a bénéficié de cet effet. De leur côté, Zahodne et collaborateurs (2011) ne mettent en évidence aucun effet de l'éducation sur le déclin de la MDT. Même si, à première vue ces résultats peuvent paraître contraires aux nôtres ils vont en fait dans le même sens. En effet, l'équipe de Zahodne (2011) a utilisé un score global de MDT combinant trois tâches qui sont similaires à l'empan de phrases et l'empan alphabétique. Or ce sont les tâches pour lesquelles nous n'avons pas trouvé d'effet protecteur de l'éducation. En ce sens, nos résultats confirment les données de Zahodne et al., (2011).

La sélectivité de nos effets conforte l'idée voulant que les différentes tâches de MDT reflètent différentes dimensions. Certaines d'entre elles pourraient être moins sensibles aux effets de facteurs externes comme c'est le cas pour l'empan alphabétique et l'empan de phrases dans notre étude. De rares études se sont intéressées au rôle des facteurs génétiques dans les performances à des tâches complexes de MDT. Par exemple, Ando, Ono, et Wright (2001) et l'équipe de Kremen (2007) se sont intéressés aux influences génétiques impliquées dans les performances à une tâche d'empan de phrases. Leurs études ont porté sur des jumeaux

et ont mis en évidence de multiples influences génétiques sur les performances à une tâche d'empan de phrases. Kremen et son équipe (2007) ont par exemple montré que chez des personnes âgées de 48 ans en moyenne, l'héritabilité expliquait un peu plus de la moitié des performances à la tâche d'empan de phrases. Ces auteurs ont également comparé l'influence génétique impliquée dans les performances à l'empan de phrases, à une simple tâche de stockage (empan de chiffres à l'endroit) et à une simple tâche de lecture. Ils ont mis en évidence des influences génétiques communes mais également spécifiques pour l'empan de phrases. Ces résultats suggèrent que contrairement à d'autres tâches complexes de MDT comme la tâche de Brown-Peterson, les performances à l'empan de phrases seraient peu sujettes aux facteurs environnementaux tels que le niveau d'éducation ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes. D'ailleurs cette idée est cohérente avec plusieurs études suggérant que les performances à l'empan de phrases reflètent les processus sur lesquels notre bagage culturel repose plutôt que l'inverse (Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merickle, 1996; Just & Carpenter, 1992). En d'autres termes, l'acquisition des facteurs culturels, de même que leur efficacité, seraient davantage dépendantes des performances à l'empan de phrases que l'inverse.

4.2.8 Nos résultats dans le contexte de la théorie co-constructiviste

La théorie co-constructiviste de P.B. Baltes (voir P.B. Baltes et al., 2006) suggère que les facteurs culturels pourraient permettre de compenser l'affaiblissement de certaines habiletés fluides. Ainsi, selon cette théorie, le déclin des habiletés fluides telles que la MDT ne serait pas inéluctable. En effet, les auteurs postulent qu'il existe une relation réciproque entre les facteurs biologiques et culturels tout au long de la vie. Selon les auteurs cette relation deviendrait compensatoire avec l'avancée en âge. Autrement dit, pour pallier à l'affaiblissement des fonctions cognitives davantage contraintes par des facteurs biologiques (ex. : MDT), les individus pourraient utiliser les facteurs culturels qu'ils possèdent. Selon cette théorie, cette compensation pourrait survenir tôt dans la période du vieillissement. En effet, à un âge avancé, que les auteurs situent autour de 70 ans, les auteurs de cette théorie postulent que l'affaiblissement des facteurs biologiques deviendrait trop important pour être compensé. Nos résultats indiquent que l'effet de l'éducation est protecteur tôt dans la période du

vieillesse mais diminue par la suite. D'ailleurs les jeunes-âgés qui bénéficient de cet effet protecteur autour de 65 ans sont également ceux qui présentent le déclin le plus important et finalement tendent à présenter le même profil de résultats que les âgés-âgés et les participants les moins éduqués. Ces résultats sont à la fois en accord avec la théorie co-constructiviste suggérant que les facteurs culturels peuvent compenser les pertes cognitives jusqu'à ce que les facteurs biologiques ne soient trop affaiblis et avec plusieurs études transversales qui rapportent également un effet protecteur de l'éducation sur des fonctions cognitives fluides uniquement chez des jeunes-âgés (Bornstein & Suga, 1988; Opdebeeck et al., 2016). Notons tout de même que Bornstein et Suga (1988) ont mis en évidence un avantage de l'éducation chez des personnes âgées de 40 à 59 qui disparaît après 60 ans. De notre côté, la perte de l'effet protecteur de l'éducation est plus tardive ce qui peut être dû à plusieurs facteurs tels que les domaines cognitifs explorés, les tâches utilisées, le niveau d'éducation de nos groupes de participants, de même que des différences dans les générations observées. Comme mentionné plus haut, il est fort probable que les sexagénaires des années 1980 ne présentent pas les mêmes caractéristiques que les sexagénaires d'aujourd'hui.

En revanche, nos résultats mettent en évidence que comparé à l'effet de l'éducation, l'effet protecteur de la pratique d'activités cognitivement stimulantes survient plus tard et perdure tout au long de la période du vieillissement quel que soit l'âge des participants. Or la théorie co-constructiviste suggère qu'à un âge avancé les facteurs culturels ne peuvent plus compenser l'affaiblissement des facteurs biologiques. Autrement dit, nos résultats concernant l'effet protecteur de la pratique d'activités cognitivement stimulantes tout au long de la période du vieillissement vont à l'encontre de la théorie co-constructiviste. En fait, nos résultats suggèrent que le moment auquel les facteurs culturels ne permettent plus de compenser l'affaiblissement des facteurs biologiques ne dépend peut être pas uniquement du niveau de ces facteurs biologiques mais également du type de facteur culturel ; l'âge chronologique (et donc le niveau des facteurs biologiques) n'a peut être pas autant de poids que ce que l'on pourrait imaginer. Une telle hypothèse est soutenue par Stine-Morrow (2007) et son hypothèse de Dumbledore qui postule que l'engagement dans des activités intellectuelles contribue davantage à la santé cognitive dans le vieillissement normal que la sénescence. Une telle hypothèse reste toutefois à confirmer.

En résumé, nos résultats indiquent que l'éducation, acquise tôt dans la vie, protège tôt dans le vieillissement alors que la pratique d'activités cognitivement stimulantes, acquise plus tardivement dans la vie, protège plus tardivement dans le vieillissement. Il semble donc que certains facteurs de protection puissent compenser l'affaiblissement des facteurs biologiques même à un âge avancé. En ce sens, nos résultats suggèrent que de la même manière que le développement cognitif est dynamique tout au long de la vie, il semble que les processus de compensation le soient également. L'ensemble de nos résultats est cohérent avec l'hypothèse de réserve qui suggère que certains facteurs permettraient d'augmenter la résilience cognitive et que la réserve peut être modulée tout au long de la vie par des facteurs externes comme les expériences cognitives. Même si, à l'heure actuelle, il est encore difficile de préciser par quels mécanismes les expériences cognitives protègent des effets du vieillissement normal, un constat se dégage : différents facteurs de protection s'expriment par différents mécanismes et protègent à différents moments de la vie.

4.2.9 Le lien entre nos deux études

Nos deux études portent sur le même échantillon, il paraît donc pertinent d'examiner comment les résultats de l'une peuvent éclairer les résultats de l'autre. C'est ce que nous tenterons de faire dans cette section. D'abord, rappelons brièvement les résultats obtenus. Notre étude 1 a montré un déclin léger à modéré mais significatif et généralisé de la MDT et des FCA qui la sous tendent (inhibition et alternance) chez des personnes âgées de 59 à 83 ans au Temps 1 sur seulement 5 ans. Pourtant, parmi les tâches de MDT, le paradigme de Brown-Peterson semble se démarquer puisque notre étude 2 met en évidence un effet protecteur de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sélectivement sur cette tâche.

La tâche de Brown-Peterson est une tâche fréquemment utilisée pour évaluer la MDT. A l'inverse de plusieurs tâches de MDT (comme l'empan alphabétique par exemple), le paradigme de Brown-Peterson n'implique pas la manipulation d'information (Lezak, Howieson, Bigler, & Tranel, 2012, p.416). En effet, les performances à la tâche de Brown-Peterson dépendent des capacités de mémoire à court terme (retenir une série de lettres), des habiletés numériques (tâche interférente ; Mertens et al., 2006) et de la sensibilité à

l'interférence (Stuss, Stethem, & Pelchat, 1988). Tant de composantes cognitives qui sont impliquées dans la plupart des activités quotidiennes : conduire son auto, préparer un repas, organiser sa journée, etc. Notre étude 2 suggère donc que des facteurs tel que l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes pourraient avoir un impact positif sur ces fonctions cognitives et par répercussion pourraient permettre de préserver l'autonomie plus longtemps.

Les résultats de notre étude 2 impliquent également que le déclin à la tâche de Brown-Peterson ne dépend pas uniquement de l'âge mais pourrait être modulé par le niveau d'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes. Ce constat pourrait d'ailleurs expliquer, au moins en partie, la divergence entre nos résultats à l'étude 1 et certaines études transversales. Dans notre étude 1, nous notons que le déclin observé à la tâche de Brown-Peterson était compatible avec certaines études transversales (Sylvain-Roy et al., 2015a) mais pas avec toutes (Belleville et al., 1996; Bherer et al., 2001). D'ailleurs plusieurs auteurs mettent en exergue cette inconsistance de résultats entre les études transversales qui s'intéressent à l'effet du vieillissement sur cette tâche (voir Mertens et al., 2006). Notre étude 2 apporte un éclairage intéressant à ce sujet. Les équipes de Belleville (1996) et de Bherer (2001) n'ont pas montré d'effet du vieillissement à la tâche de Brown-Peterson ; leurs participants âgés (respectivement 65,6 ans et 67,2 ans) présentaient des performances similaires aux jeunes adultes (respectivement 26 ans et 25,8 ans). Notons que dans ces deux études, l'âge des participants âgés correspond à celui des jeunes-âgés de notre étude au Temps 1 (65,8 ans). Or, notre étude 2 met en évidence un effet protecteur de l'éducation à la tâche de Brown-Peterson chez nos jeunes-âgés au Temps 1. D'ailleurs, lorsque nous comparons les performances des nos jeunes-âgés au Temps 1 aux performances de jeunes adultes (23,7 ans ; recueil de données effectué par Sylvain-Roy et al., 2015a qui constitue notre Temps 1), nous n'observons pas de différence significative à la tâche de Brown-Peterson entre les deux groupes d'âge. Il est donc possible que les performances similaires entre les jeunes adultes et les jeunes-âgés à la tâche de Brown-Peterson dans les études de Belleville et al., (1996) et de Bherer et al., (2001) reflètent davantage un effet protecteur de l'éducation plutôt qu'un réel « non-effet » du vieillissement. Les âgés dans l'étude de Belleville et collaborateurs (1996) présentaient en moyenne 12,7 ans d'étude et 12,9

ans dans celle de Bherer et collaborateurs (2001). Notons que 50% des personnes âgées de 65 ans et plus présentent moins de 9 années d'étude au Québec (INSPQ, 2003), ainsi 12 ans d'études et plus reflètent déjà un haut niveau d'éducation pour cette tranche de la population. D'ailleurs, Bherer et collaborateurs (2001) ont mis en évidence un effet de l'éducation tant chez les jeunes adultes que chez les jeunes-âgés. De leur côté, Morrow et Ryan (2002) ont comparé les performances de jeunes adultes à des jeunes-âgés (65 ans, 14 ans d'études) et ont mis en évidence un effet d'éducation plus important que l'effet d'âge. Notre hypothèse est que l'effet d'éducation pourrait protéger du déclin à 65 ans et on n'observerait donc pas d'effet lié au vieillissement dans les études transversales. Notre étude 2 suggère que l'âge viendrait ensuite moduler l'effet d'éducation aux alentours de 70-75 ans, c'est à ce moment là qu'on observerait un effet lié au vieillissement. D'ailleurs, les études transversales ayant mis en évidence un effet négatif du vieillissement sur la tâche de Brown-Peterson portent sur des échantillons de personnes plus âgées que ceux de Belleville et al., (1996) et Bherer et al., (2001). Par exemple, l'équipe de Sylvain-Roy (2015a) a étudié un échantillon de 74 personnes âgées (70,9 ans, 14,6 ans d'étude en moyenne) et a mis en évidence que les âgés présentaient de moins bonnes performances que les jeunes adultes (23,7 ans). De leur côté, Messier et collaborateurs (2003) ont montré que des personnes de 80 ans présentaient de moins bonnes performances que des personnes de 55 ans (15,5 ans d'étude en moyenne) à la tâche de Brown-Peterson. L'ensemble de ces données rejoint les résultats de notre étude 2 selon laquelle l'effet d'éducation protégerait du déclin à 65 ans à la tâche de Brown-Peterson (donc on n'observerait pas d'effet lié au vieillissement) puis se dissiperait aux alentours de 70-75 ans (donc on observerait un effet lié au vieillissement). D'ailleurs, nous avons comparé les performances de nos âgés-âgés (75 ans) à des jeunes adultes (23,7 ans ; recueil de données effectué par Sylvain-Roy et al., 2015a qui constitue notre Temps 1) et on observe une différence significative entre les deux groupes d'âge. Évidemment, d'autres études longitudinales et transversales sont nécessaires afin de vérifier cette hypothèse.

Concernant la pratique d'activités cognitivement stimulantes, notre étude 2 met en évidence un effet protecteur sur le déclin à la tâche de Brown-Peterson qui perdure tout au long du vieillissement. Cet effet protecteur ne permet pas d'enrayer complètement le déclin (cf. étude 1), c'est pourquoi arrivé à un certain âge, l'effet du vieillissement est visible à la

tâche de Brown-Peterson (Messier et al., 2003; Sylvain-Roy et al., 2015a), cependant, l'effet protecteur permet de le ralentir. Cela pourrait s'expliquer par le poids de chaque facteur de protection ; le niveau d'éducation explique 43% de la variance des performances à la tâche de Brown-Peterson au Temps 1 chez les jeunes-âgés, alors que la pratique d'activités cognitivement stimulantes explique 13,3% du déclin quel que soit l'âge. Ces résultats laissent penser que l'impact de l'éducation chez les jeunes-âgés est plus important que l'impact de la pratique d'activités cognitivement stimulantes pour l'ensemble des participants. Donc, lorsque l'effet protecteur de l'éducation – dont l'impact est fort – disparaît, le déclin est très marqué. L'effet protecteur de la pratique d'activités cognitivement stimulantes survient à ce moment et compte tenu de son poids il ne peut totalement compenser le déclin mais il peut le ralentir. Cette hypothèse permettrait d'expliquer que l'on observe un déclin dans notre étude 1 malgré l'effet protecteur de la pratique d'activités cognitivement stimulantes tout au long du vieillissement. Là encore, d'autres études longitudinales sont nécessaires afin de vérifier ce décours temporel ainsi que les hypothèses qui y sont associées. Quoi qu'il en soit, nos deux études suggèrent que le vieillissement est un processus dynamique et complexe dont les effets sur le fonctionnement cognitif ne dépendent pas seulement de l'âge chronologique mais également de facteurs de protection. Ainsi, lorsqu'aucun effet lié au vieillissement n'est mis en évidence, cela pourrait suggérer la présence d'un facteur de protection actif et un effet lié au vieillissement pourrait aussi refléter la perte de l'effet d'un facteur de protection.

4.3 Implications cliniques de la thèse

Nos résultats permettent une meilleure compréhension de l'impact du vieillissement normal sur une fonction aussi complexe que cruciale : la MDT. En effet, notre étude 1 met en évidence un déclin généralisé, sur seulement 5 ans, de la MDT complexe et des capacités d'inhibition et d'alternance. Ces résultats devraient encourager davantage les neuropsychologues qui travaillent avec des personnes âgées à explorer la MDT à l'aide de tâches complexes mais également à l'aide de mesures plus fines. Il semble également pertinent d'explorer précocement la MDT. En effet, la plupart des patients consultent lorsqu'eux-mêmes ou leur entourage observent un changement dans leur capacité de fonctionnement au

quotidien. Or, notre étude 1 montre que même des personnes âgées saines, autonomes et ne présentant aucune plainte particulière, présentent un déclin, certes léger mais généralisé de la MDT et des FCA. Documenter un éventuel déclin de la MDT même chez des « jeunes-âgés » permettrait de proposer des recommandations (comme la pratique d'activités cognitivement stimulantes par exemple) à un stade précoce et de potentiellement ralentir le déclin cognitif général. L'objectif serait de maintenir le plus longtemps possible les FCA et les capacités de MDT complexe et/ou de ralentir leur déclin afin de préserver le fonctionnement cognitif global et l'autonomie le plus longtemps possible.

De plus, notre étude 2 appuie l'idée que les différents tests de MDT n'évaluent pas les mêmes dimensions. Ainsi, il est important que les neuropsychologues soient conscients que l'utilisation de tel ou tel instrument n'amènera pas aux mêmes interprétations. En effet, il semble par exemple que le Brown-Peterson soit sensible à l'effet de l'éducation alors que cela ne semble pas être le cas des tâches d'empan de phrases et d'empan alphabétique. Dans le cas de l'utilisation du paradigme de Brown-Peterson, il serait donc important de tenir compte du niveau d'éducation pour interpréter un effet d'âge. D'autre part, la connaissance des fonctions cognitives impliquées dans telle ou telle épreuve permet aussi d'éviter les artéfacts. Par exemple, si un patient échoue à la tâche de l'empan alphabétique, il peut effectivement s'agir d'une difficulté de MDT mais cet échec pourrait également s'expliquer par un défaut de la mémoire à long terme (se rappeler de la séquence alphabétique). Il en va de même pour l'empan de phrases dont les performances sont très liées aux capacités de compréhension (Daneman & Carpenter, 1980) ou la tâche de Brown-Peterson qui implique une bonne capacité d'attention divisée (Stuss et al., 1988). Il importe donc de bien connaître les fonctions cognitives qui sous-tendent les tâches de MDT et il nous semble important de garder en mémoire qu'aucune tâche ne peut mesurer « la MDT » mais seulement certaines fonctions cognitives qui la sous-tendent.

Notre travail confirme également la nécessité, peut être de plus en plus grande, d'actualiser les normes des épreuves neuropsychologiques. En effet, les nombreux changements technologiques de ces dernières années permettent un accès de plus en plus simple aux ressources culturelles, aux nouvelles technologies, aux programmes de stimulation

cognitive et on semble assister à une certaine homogénéisation des trajectoires cognitives au sein du vieillissement normal. Ainsi, les résultats considérés « normaux » il y a 10 ans pour une personne âgée de 75 ans pourraient ne plus l'être aujourd'hui. De plus, dans une pratique clinique idéale, il nous semble également important de questionner les personnes âgées sur leur niveau d'éducation bien sûr mais également sur les expériences cognitives qu'elles vivent. Cela devrait aussi aider à interpréter des résultats, dans l'attente que le niveau d'éducation et le niveau de pratique d'activités cognitivement stimulantes fassent partie des facteurs pris en compte pour l'établissement des normes!

Notre étude 2 apporte aussi de nouvelles informations concernant l'effet protecteur de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes sur la MDT. Ces résultats devraient servir à promouvoir la pratique d'activités cognitivement stimulantes et ce quel que soit le niveau d'éducation. Notre travail suggère en effet que l'éducation et la pratique d'activités cognitivement stimulantes protègent des effets de l'âge sur la MDT mais que leur effet est indépendant. Cette indépendance est importante car l'éducation représente les expériences cognitives acquises tôt dans la vie, sur lesquelles nous n'avons que peu de contrôle. En revanche, la pratique d'activités cognitivement stimulantes s'acquiert, elle peut se moduler à tout âge et elle est davantage « personne-dépendante ». Nos résultats confirment également que la réserve cognitive peut se construire à tout âge et qu'elle n'est pas déterminée par nos expériences cognitives précoces. Les neuropsychologues cliniciens ont un rôle privilégié et primordial dans la conscientisation des personnes âgées aux bénéfices des activités cognitivement stimulantes sur leur fonctionnement cognitif et potentiellement sur leur autonomie. Ainsi, notre travail s'inscrit dans une vision optimiste du vieillissement dont le déclin cognitif n'est pas inéluctable et sur lequel nous avons un certain pouvoir jusqu'à un âge avancé.

Finalement, notre étude contribue à une meilleure compréhension des effets du vieillissement normal sur le fonctionnement cognitif et plus particulièrement sur la MDT et les FCA qui la sous-tendent. Or c'est par une meilleure compréhension du vieillissement normal tant dans ses aspects délétères que préservés que l'on pourra mieux détecter les premiers signes d'un vieillissement pathologique et aussi créer et proposer davantage d'activités et/ou

développer des programmes de stimulation adaptés aux difficultés rencontrées et s'appuyant sur les fonctions préservées. Notre travail s'inscrit en effet dans une perspective préventive ; des pistes se profilent à l'horizon et pourraient permettre de se protéger de certains déclin cognitifs, notamment l'éducation mais également la pratique d'activités cognitivement stimulantes. Nos résultats soutiennent les campagnes visant à inciter les personnes âgées à pratiquer des activités cognitives que ce soit dans le cadre de programmes dont les bienfaits ont été prouvés scientifiquement (ex. : MEMO ; Gilbert, Fontaine, Belleville, Gagnon, & Ménard, 2008) mais également dans le développement de jeux vidéo, d'universités pour les aînés, etc.

4.4 Limites de la thèse

Évidemment cette thèse présente certaines limites qu'il est important de souligner. Premièrement, les participants rencontrés aux deux reprises à 5 ans d'intervalle étaient inscrits sur la liste de la Banque de participants du Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal. Il est fort probable que les caractéristiques des personnes qui participent à des études soient différentes de celles qui ne participent pas (motivation, santé, fonctionnement cognitif). De plus, comme dans toute étude longitudinale l'attrition sélective et l'effet test-retest mentionnés plus haut pourraient constituer une limite à ce travail. Cependant l'effet potentiel de ces deux facteurs a été considéré dans notre discussion. Enfin, notons que les limites citées ici sont inhérentes aux recherches qu'elles soient transversales ou longitudinales.

Une autre limite pourrait tenir au nombre de participants relativement restreint au deuxième temps de mesure ($N = 40$). Cela aurait effectivement pu cacher certains effets. Cependant, les analyses statistiques ont été réalisées dans le respect de ce nombre, ce qui nous confère tout de même une certaine puissance statistique. Rappelons que même avec un nombre restreint de participants, l'effet du vieillissement normal sur la MDT et les FCA est significatif et généralisé et des effets protecteurs sur le déclin de la MDT ont émergé.

Concernant plus particulièrement notre deuxième étude, certains facteurs comme le statut socio-économique ou la profession exercée pourraient avoir influencé le niveau d'éducation et/ou la pratique d'activités cognitivement stimulantes de nos participants. Il aurait donc été intéressant de les inclure, cependant le nombre de participants ne nous permettait pas d'ajouter d'autres facteurs si nous souhaitions conserver une puissance statistique satisfaisante.

Enfin, une autre limite concerne le lien causal entre la MDT et les facteurs de protection. En effet, on ne peut pas exclure que les personnes présentant de meilleures performances en MDT ou un plus faible déclin s'engagent davantage dans des activités cognitivement stimulantes. Cependant, certains arguments nous font penser que c'est bien la pratique d'activités cognitivement stimulantes qui prédit la MDT et pas l'inverse, premièrement aucune corrélation n'a été mise en évidence entre le niveau de pratique d'activités cognitivement stimulantes et les performances de MDT de base. Ensuite, le déclin observé en MDT était postérieur à la pratique d'activités cognitivement stimulantes rapportée dans le questionnaire. Ces considérations apportent de bonnes raisons de penser que c'est bien la pratique d'activités cognitivement stimulantes qui prédit le déclin en MDT et pas l'inverse. Cependant, des études utilisant de multiples temps de mesure à de courts intervalles de temps et examinant les changements dans la pratique d'activités cognitivement stimulantes et en MDT permettraient d'éclairer ce point.

4.5 Perspectives futures

Comme nous l'avons mentionné à la section 1.1.2, le plan expérimental utilisé a son importance particulièrement lorsqu'on étudie le vieillissement. D'un point de vue méthodologique, un type de plan expérimental semble particulièrement intéressant pour l'étude du vieillissement mais assez coûteux à mettre en place : le « intensive measurement burst design ». Ce type de plan consiste en de multiples évaluations d'un même groupe de participants durant une période relativement courte. De nombreux avantages sont associés à cette technique : (a) premièrement, il permet d'évaluer à quel moment, précisément, le déclin

survient, (b) il permet de distinguer les effets dus à la variabilité intra-individuelle (fluctuations à court terme) des effets dus aux changements intra-individuels (changements durables), et (c) cette technique permet également d'examiner comment des processus à court terme (variabilité intra-individuelle) influencent des processus durables (changements intra-individuels; Rast, MacDonald, & Hofer, 2012; Stawski, Smith, & MacDonald, 2015). Ce type de plan permet d'obtenir des résultats longitudinaux en évitant les intervalles parfois trop longs qui participent à l'attrition sélective. Cependant, comme dans tous type de plan expérimental, certains biais devraient être pris en considération. Ainsi, si les intervalles sont plus restreints, il sera nécessaire de porter une attention particulière aux effets test-retest.

Il nous semblerait également intéressant d'examiner plus finement les processus cognitifs ainsi que les structures cérébrales sous-tendant les différentes tâches complexes de MDT. Un grand pas dans ce sens a déjà été fait par Miyake et collaborateurs (2000) et Sylvain-Roy et al., (2015a) mais d'autres études sont encore nécessaires. Cela permettrait autant aux chercheurs qu'aux cliniciens de savoir exactement ce qui est en jeu lorsque ces tâches sont utilisées.

Par ailleurs, il serait intéressant de revoir les participants de notre étude pour plusieurs raisons. Premièrement, cela permettrait d'examiner à quel moment le déclin devient plus marqué. En effet, ce qui semble s'apparenter à une homogénéisation du fonctionnement cognitif chez nos participants ne nous a pas permis de déterminer avec précision un moment auquel le déclin serait plus marqué. Deuxièmement, étudier les trajectoires de déclin cognitif permettrait de détecter les signes avant-coureurs d'éventuelles pathologies neurodégénératives. Il est en effet possible que parmi nos participants certains développent des pathologies neurodégénératives, un suivi de ces participants pourrait alors nous permettre d'identifier de potentiels signes précurseurs. Enfin, un suivi des participants permettrait d'examiner si l'effet protecteur de la pratique d'activités cognitivement stimulantes perdure avec l'avancée en âge.

Enfin, il serait intéressant d'examiner l'effet d'autres potentiels facteurs de protection et leur interaction. Par exemple, le statut socioéconomique, la profession exercée, le réseau social sont des facteurs qui pourraient aussi avoir un effet sur le déclin en MDT et certains de ces facteurs pourraient même agir en interaction. Notre étude 2 n'a mis en évidence aucun lien

entre l'effet de l'éducation et de la pratique d'activités cognitivement stimulantes au sein d'une population âgée. Cependant, il serait intéressant de comparer les effets d'autres facteurs potentiellement protecteurs afin de préciser leur impact et déterminer les plus susceptibles d'être protecteurs. Il serait également intéressant d'examiner l'effet de ces facteurs en fonction de l'âge. Finalement, des études en neuroimagerie structurelle et fonctionnelle permettraient également de préciser l'impact de divers facteurs de protection sur le cerveau et éventuellement leur(s) mécanisme(s) d'action.

Bibliographie pour le contexte théorique et la discussion générale

Abwender, D. A., Swan, J. G., Bowerman, J. T., et Connolly, S. W. (2001). Qualitative analysis of verbal fluency output: review and comparison of several scoring methods. *Assessment*, 8, 323-336. doi: 10.1177/107319110100800308

Alwin, D. F. (1991). Family of origin and cohort differences in verbal ability. *American Sociological Review*, 56, 625-638.

Ando, J., Ono, Y., et Wright, M. J. (2001). Genetic structure of spatial and verbal working memory. *Behavior Genetics*, 31, 615–624.

Arbuckle, T. Y., Maag, U., Pushkar, D., et Chaikelson, J.S. (1998). Individual differences in trajectory of intellectual development over 45 years of adulthood. *Psychology and Aging*, 13(4), 663-675.

Arnett, P. A., Higginson, C. H., Voss, W. D., Bender, W. I., Wurst, J. M., et Tippin, J. M. (1999). Depression in multiple sclerosis: Relationship to working memory capacity. *Neuropsychology*, 13, 546-556.

Atkinson, R. C., et Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. Dans Spence, K. W., et Spence, J. T. *The psychology of learning and motivation* (Volume 2). New York: Academic Press. pp. 89–195.

Atkinson, R. C., et Shiffrin, R. M. (1971). The control processes of short-term memory. *Scientific American*, 225(2), 82-90.

Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. New-York: Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (1992). Working Memory. *Science*, 255 (5044), 556-559.

Baddeley, A. D. (1993). Short-term phonological memory and long-term learning: A single case study. *European Journal of Cognitive Psychology*, 5, 129–148.

Baddeley, A. D. (1996, novembre). *The fractionation of working memory*. Communication présentée au National Academy of Sciences, Irvine, CA, USA.

Baddeley, A. D. (1998). The central executive: a concept and some misconceptions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4, 523-526.

Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 1;4(11), 417-423.

Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56, 851–864.

Baddeley, A. D. (2002). Fractionating the central executive. Dans D. Stuss et R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 246–260). New York: Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (2007). *Working Memory, Thought and Action*. Oxford, UK: Oxford Univ. Press

Baddeley, A. D., et Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp.47-88). London: Academic Press.

Baltes, P. B. (1997). On the incomplete architecture of human ontogeny: selection, optimization, and compensation as foundation of developmental theory. *American Psychologist*, 52, 366-380.

Baltes, P. B., Lindenberger, U., et Staudinger, U. M. (2006). Life span theory in developmental psychology. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of Child*

Psychology: Vol. 1. Theoretical Models of Human Development (6th ed., pp. 569-664). New-York: Wiley.

Baltes, P. B., Staudinger, U. M., et Lindenberger, U. (1999). Lifespan psychology : theory and application to intellectual functioning. *Annual Review of Psychology*, 50, 471-507.

Barnes, D. E., Yaffe, K., Satariano, W. A., et Tager, I. B. (2003). A longitudinal study of cardiorespiratory fitness and cognitive function in healthy older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(4), 459-465.

Bastin C, Simon J, Kurth S, Collette F, et Salmon E. (2013). Variabilité individuelle dans le fonctionnement de la mémoire épisodique au cours du vieillissement normal et pathologique : le rôle de la réserve cognitive. *Revue de Neuropsychologie*, 5(4), 235-242
doi:10.1684/nrp.2013.0278

Belleville, S., Bherer, L., Lepage, E., Chertkow, H., et Gauthier, S. (2008). Task switching capacities in persons with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, 46 (8), 2225-2233.

Belleville, S., Rouleau, N., et Caza, N. (1998). Effect of normal aging on the manipulation of information in working memory. *Memory and Cognition*, 26(3), 572-583.

Belleville, S., Rouleau, N., et Van der Linden, M. (2006). Use of the Hayling task to measure inhibition of prepotent responses in normal aging and Alzheimer's disease. *Brain and Cognition*, 62, 113-119.

Belleville, S., Peretz, I., et Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195-207.

Bherer, L., Belleville, S., et Peretz, I. (2001). Education, age, and the Brown-Peterson technique. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 237-251.

Bopp, K. L., et Verhaeghen, P. (2005). Aging and verbal memory span: A meta-analysis. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 5, 223-233.

Bornstein, R. A., et Suga, L. J. (1988). Educational level and neuropsychological performance in healthy elderly subjects. *Developmental Neuropsychology*, 4, 17-22.

Changement (2013). Dans D. Morvan, et L. Laporte (dir.), *Le Robert de poche plus*. Paris, France: Dictionnaire Le Robert.

Christensen, H., Mackinnon, A., Jorm, A. F., Henderson, A. S., Scott, L. R., et Korten, A. E. (1994). Age differences and interindividual variation in cognition in community-dwelling elderly. *Psychology and Aging*, 9(3), 381-390.

Christensen H., Mackinnon A. J., Korten A. E., Jorm, A. F., Henderson, A. S. Jacomb, P. et Rodgers, B. (1999). An analysis of diversity in the cognitive performance of elderly community dwellers: individual differences in change scores as a function of age. *Psychology of Aging*, 14, 365-379.

Collette, F. (2004). Exploration des fonctions executives par imagerie cérébrale. Dans T. Meulemans, F. Collette, et M. Van der Linden (Eds.), *Neuropsychologie des fonctions exécutives* (pp. 25-52). Marseille : Solal.

Collette, F., Salmon, E., Van der Linden, M., Chicherio, C., Belleville, S., Degueldre, C., Delfiore, G., et Franck, G. (1999). Regional brain activity during tasks devoted to the central executive of working memory. *Cognitive Brain Research*, 7, 411- 417.

Collette, F., Peters, F., Hogge, M., et Majerus, S. (2007). Mémoire de travail et vieillissement normal. Dans G. Aubin, F. Coyette, P. Pradat-Diehl et C. Vallat-Azouvi (Eds.),

Neuropsychologie de la Mémoire de Travail (pp. 353-380). Marseille: Solal.

Cooper, P. S., Garrett, P. M., Rennie, J. L., et Karayanidis, F. (2015). Task uncertainty can account for mixing and switch costs in task-switching. *Plos One*, *10*(6), e0131556. doi:10.1371/journal.pone.0131556

Cowan, N. (1999). An Embedded-processes model of working memory. Dans A. Miyake, et P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.

Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. New York, NY: Psychology Press.

Cracchiolo, J. R., Takashi, M., Nazian, S. J., Tan, J., Potter, H., et Arendash, G. W. (2007). Enhanced cognitive activity – over and above social or physical activity – is required to protect Alzheimer’s mice against cognitive impairment, reduce A β deposition, and increase synaptic immunoreactivity. *Neurobiology of Learning and Memory*, *88*, 277-294. doi:10.1016/j.nlm.2007.07.007

Craik, F. I. M. (1986). A functional account of age differences in memory. In F. Klix, & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities: Mechanisms and performances* (pp. 409-422). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

Crooks, V. C., Luben, J., Petitti, D. B., Little, D., et Chiu, V. (2008). Social network, cognitive function, and dementia incidence among elderly women. *American Journal of Public Health*, *98* (7), 1221-1227.

Daneman, M., et Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*, 450-466.

Daneman, M., et Merickle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension. *Psychonomic Bulletin & Review*, *3*(4), 422-433.

De Beni, R., et Palladino, P. (2004). Decline in working memory updating through ageing: intrusion error analyses. *Memory*, 12(1), 75-89.

De Ribaupierre, A., et Ludwig, C. (2003). Age differences and divided attention: Is there a general deficit? *Experimental Aging Research*, 29(1), 79-105.

Différence (2013). Dans D. Morvan, et L. Laporte (dir.), *Le Robert de poche plus*. Paris, France: Dictionnaire Le Robert.

Dunham, W. H. (1991). Co-evolution: Genes, culture, and human diversity. Palo Alto, CA: Stanford University Press.

Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., et Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270 (5234), 305-307.

Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science*, 11(1), 19-23.

Engle, R. W., et Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. Dans B. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation, Vol. 44* (pp. 145-199). NY: Elsevier.

Engle, R. W., Kane, M. J., et Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. Dans A. Miyake et P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102–134). New York: Cambridge Univ. Press.

Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., et Conway, A. R. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 309-331.

Eustache, F., Faure, S., et Desgranges, B. (2013). Variabilité interindividuelle et réserve cognitive. Dans F. Eustache, S. Faure, & B. Descgranges (Eds.) *Manuel de neuropsychologie* (4^{ème} éd., pp. 330-332). Paris: Dunod.

Fillet, H., Butler, R., et O'Connell, A. (2002). Achieving and maintaining cognitive vitality with aging. *Mayo Clinic Proceedings*, 77, 681-697.

Fisk, J. E., et Sharp, C. (2004). Age-related impairment in executive functioning: updating, inhibition, shifting, and access. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26(7), 874-890.

Flynn, J. R. (1984). The mean IQ of Americans: massive gains 1932-1978. *Psychological Bulletin*, 95(1), 29-51.

Foubert-Samier, A., Catheline, G., Amieva, H., Dilharreguy, B., Helmer, C., Allard, M., et Dartigues, J. (2012). Education, occupation, leisure activities, and brain reserve: A population-based study. *Neurobiology of Aging*, 33 (2), 423.e15-423.e25.

Gerstorff, D., Ram, N., Hoppmann, C., Willis, S. L., et Schaie, K. W. (2011). Cohort Differences in Cognitive Aging and Terminal Decline in the Seattle Longitudinal Study. *Developmental Psychology*, 47 (4), 1026-1041.

Gilbert, B., Fontaine, F., Belleville, S., Gagnon, L., et Ménard, E. (2008). *Programme d'intervention cognitive pour les aînés: Programme MEMO*. Montréal.

Glenn, N. D. (1994). Television watching, newspaper reading, and cohort differences in verbal ability. *Sociology of Education*, 67, 216-230.

Grégoire, J. (2006). Devenons-nous plus intelligents? *Le Journal des Psychologues*, 1(234), 38-42.

Hall, C. B., Derby, C., Le Valley, A., Katz, M. J., Verghese, J., et Lipton, R. B. (2007). Education delays accelerated decline on a memory test in persons who develop dementia. *Neurology*, *69*, 1657-1664.

Hasher, L., Lustig, C., et Zacks, R. T. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake & J. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 227-249). New York, NY: Oxford University Press.

Hasher, L., et Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. Dans G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 22, pp. 193-225). San Diego, CA: Academic Press.

Hasher, L., Zacks, R. T., et May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. Dans D. Gopher et A. Koriath (Eds.), *Attention and Performance XVII, Cognitive Regulation of Performance: Interaction of Theory and Application* (pp. 653-675). Cambridge, MA: MIT Press.

Heaton, R. K., Grant, I., et Mathews, C. (1986). Differences in neuropsychological test performance associated with age, education and sex. Dans I. Grant et K. M. Adams (Eds.), *Neuropsychological assessment in neuropsychiatric disorders* (pp. 108–120). New York: Oxford University Press.

Helzner, E. P., Scarmeas, N., Cosentino, S., Portet, F., et Stern, Y. (2007). Leisure activity and cognitive decline in incident Alzheimer disease. *Archives of Neurology*, *64*, 1749-1754. doi: 10.1001/archneur.64.12.1749

Henry, J. D., et Crawford, J. R. (2004). Verbal fluency deficits in Parkinson's disease: A meta-analysis. *Journal of International Neuropsychological Society*, *10*, 608-622. doi: 10.1017/S1355617704104141

Hertzog, C., Hultsch, D. F., et Dixon, R. A. (1999). On the problem of detecting effects of

lifestyle on cognitive change in adulthood: Reply to Pushkar et al., (1999). *Psychology and Aging*, 14(3), 528-534.

Hirshorn, E. A., et Thompson-Schill, S. L. (2006). Role of the left inferior frontal gyrus in covert word retrieval: neural correlates of switching during verbal fluency. *Neuropsychologia*, 44, 2547-2557. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.035

Hockey, A., et Geffen, G. (2004). The concurrent validity and test-retest reliability of a visuospatial working memory task. *Intelligence*, 32, 591-605.

Hofer, S. M., et Sliwinski, M. J. (2001). Understanding Ageing. An evaluation of research designs for assessing the interdependence of ageing-related changes. *Gerontology*, 47(6), 341-352.

Hofer, S. M., Sliwinski, M. J., et Flaherty, B. P. (2002). Understanding aging: further commentary on the limitations of cross-sectional designs for aging research. *Gerontology*, 48, 22-29.

Hultsch, D. F., Hammer, M., et Small, B. J. (1993). Age differences in cognitive performance in later life: Relationships to self-reported health and activity life style. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 48, 1-11.

Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J., et Dixon, R. A. (1999). Use it or lose it: engaged lifestyle as a buffer of cognitive decline in aging? *Psychology and Aging*, 14(2), 245-263.

Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J., McDonald-Miszczak, L., et Dixon, R. A. (1992). Short-term longitudinal change in cognitive performance in later life. *Psychology and Aging*, 7(4), 571-584.

Jersild, A. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*, whole n°89.

Jones, R. N., Manly, J., Glymour, M. M., Rentz, D. M., Jefferson, A. L., et Stern, Y. (2011). Conceptual and measurement challenges in research on cognitive reserve. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *17*, 593-601.

Just, M. A., et Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: individual differences of working memory. *Psychological Review*, *99*(1), 122-149.

Kane, M. J., Hembrick, D. Z., et Conway, A. R. (2005). Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: comment on Ackerman, Beier, and Boyle. *Psychology Bulletin*, *131*(1), 66-71.

Kemper, S., Herman, R. E., et Liu, C. J. (2004). Sentence production by younger and older adults in controlled context. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, *58B*, 220-224.

Kirasic, K., Allen, G. L., Dobson, S. H., et Binder, K. S. (1996). Aging, cognitive resources, & declarative learning. *Psychology and Aging*, *11*, 658-670.

Klein, K., et Boals, A. (2001). The relationship of life event stress and working memory capacity. *Applied Cognitive Psychology*, *15*, 565-579.

Kramer, A. F., et Erickson, K. I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity : influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(8), 342-348.

Kray, J. (2006). Task-set switching under cue-based versus memory-based switching conditions in younger and older adults. *Brain Research*, *1105*, 83-92. doi:10.1016/j.brainres.2005.11.016

Kray, J., Eppinger, B., et Mecklinger, A. (2005). Age differences in attentional control: An event-related potential approach. *Psychophysiology*, *42*, 407-416. doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00298.x

Kray, J., Li, K. Z. H., et Lindenberger, U. (2002). Age-related changes in task-switching components: The role of task uncertainty. *Brain and Cognition*, *49*, 363-381.

Kray, J., et Lindenberger, U. (2000). 2000. Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging*, *15*, 126–147. doi: 10.1037//OS82-797-U5.1.126

Kremen, W. S., Xian, H., Eisen, S. A., Tsuang, M. T., Jacobsen, K., Eaves, L. J., et Lyons, M. J. (2007). Genetics of verbal working memory processes: A twin study of middle-aged men. *Neuropsychology*, *21*(5), 569-580. doi: 10.1037/0894-4105.21.5.569

Kyllonen, P. C., et Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) Working-Memory Capacity?! *Intelligence*, *14*, 389-433.

Institut de la statistique du Québec. (2015). *Le bilan démographique du Québec*. Repéré à <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/bilan2015.pdf>

Lachman, M. E., Agrigoroaei, S., Murphy, C., et Tun, P. A. (2010). Frequent cognitive activity compensates for education differences in episodic memory. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, *18*(1), 4-10.

Lamar, M., Zonderman, A. B., et Resnick, S. (2002). Contribution of Specific Cognitive Processes to Executive Functioning in an Aging Population. *Neuropsychology*, *16*(2). 156-162.

Lauverjat, F., Pennequin, V., et Fontaine, R. (2005). Vieillesse et raisonnement : une approche multifactorielle. *L'année Psychologique*, *105*(2), 225-247.

Le Carret, N., Lafont, S., Letenneur, L., Dartigues, J. F., Mayo, W., et Fabrigoule, C. (2003). The effects of education on cognitive performances and its implication for the constitution of

the cognitive reserve. *Developmental Neuropsychology*, 23(3), 317-337. doi: 10.1207/S15326942DN2303_1

Lefebvre, C. (2003). *Un portrait de la santé des Québécois de 65 ans et plus*. Repéré sur le site de l'Institut National de Santé Publique du Québec : <http://www.inspq.qc.ca>

Lee, Y., et Chi, I. (2016). Do cognitive leisure activities really matter in the relationship between education and cognition? Evidence from the aging, demographics and memory study (ADAMS). *Aging and Mental Health*, 20(3), 252-261. doi:10.1080/13607863.2015.1011081

Lezak, M. D, Howieson, D. B, Loring, D. W, Hannay, H. J, et Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment* (4th ed., pp. 416-418). New York, NY: Oxford University Press.

Li, S. C., et Freund, A. M. (2005). Advances in lifespan psychology: A focus on biocultural and personal influences. *Research in Human Development*, 2(1-2), 1-23. DOI: 10.1080/15427609.2005.9683342

Logie, R. H., Gilhooly, K. J., et Wynn, V. (1994). Counting on working memory in arithmetic problem solving. *Memory and Cognition*, 22(4), 395-410. doi: 10.3758/BF03200866

Lupien, S., et Lecours, A. R. (1993). Toutes choses n'étant pas égales par ailleurs : réflexion sur l'accroissement des différences interindividuelles avec l'âge. *Revue de Neuropsychologie*, 3, 3-35.

Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. J., et Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 97(8), 4398-4403.

Manly, J. J., Jacobs, D. M., Touradji, P., Small, S. A., et Stern, Y. (2002). Reading level attenuates differences in neuropsychological tests performances between African American and White elders. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(3), 341-348.

Meguro, Y., Fujii, T., Yamadori, A., Tsukiura, T., Okuda, K., et Osaka, M. (2000). The Nature of Age-Related Decline on the Reading Span Task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22(3), 391-398.

Meiran, N., Gotler, A., et Perlman, A. (2001). Old age is associated with a pattern of relatively intact and relatively impaired task-set switching abilities. *Journal of Gerontology : Series B Psychological Sciences and Social Sciences*, 56, 88–102.

Mejia, S., Pineda, D., Alvarez, L. M., et Ardila, A. (1998). Individual differences in memory and executive function abilities during normal aging. *International Journal of Neuroscience*, 95(3-4), 271-284.

Mertens, V. B., Gagnon, M., Coulombe, D., et Messier, C. (2006). Exploratory factor analysis of neuropsychological tests and their relationship to the Brown-Peterson task. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21, 733-739.

Messier, C., Tsiakas, M., Gagnon, M., Desrochers, A., et Awad, N. (2003). Effect of age and glucoregulation on cognitive performance. *Neurobiology of Aging*, 24(7), 985–1003.

Miyake, A. et Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., et Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex « frontal lobe » tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.

Monsell, S. (1996). Control of mental processes. Dans V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition* (pp. 93-148). Oxford, England: Erlbaum (Uk) Taylor & Francis, Publ.

Morrow, L. A., et Ryan, C. (2002). Normative data for a working memory test: The four word short-term memory test. *Clinical Neuropsychology*, 16(3), 373–380.

Nilsson, L. G., Sternäng, O., Rönnlund, M., et Nyberg, L. (2009). Challenging the notion of an early-onset of cognitive decline. *Neurobiology of Aging*, 30, 521-524.

Norman, D. A., et Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. Dans R. J. Davidson, G. E. Schwartz, et D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1–18). New York: Plenum.

Oberauer, K., Schulze, R., Wilhem, O., et Süß, H. M. (2005). Working memory and intelligence, their correlation and their relation: comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 61-65.

Opdebeeck, C., Martyr, A., et Clare, L. (2016). Cognitive reserve and cognitive function in healthy older people: A meta-analysis. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 23(1), 40-60. doi: 10.1080/13825585.2015.1041450

Organisation Mondiale de la Santé (2014). Bien vieillir : une priorité mondiale. Repéré à <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/lancet-ageing-series/fr/>

Parisi, J. M., Rebok, G. W., Xue, Q. L., Fried, L. P., Seeman, T. E., Tanner, E. K., ... et Carlson, M. C. (2012). The role of education and intellectual activity on cognition. *Journal of Aging Research*, 2012, 1-9. doi:10.1155/2012/416132

Pernecky, R., Diehl-Schmid, J., Drzezga, A., et Kurz, A. (2007). Brain reserve capacity in frontotemporal dementia: a voxel-based 18F-FDG PET study. *European Journal of Nuclear*

Medicine and Molecular Imaging, 34, 1082-1087. doi: 10.1007/s00259-006-0323-z

Phillips, L. H., et Hamilton, C. (2001). The working memory model in adult aging research. Dans J. Andrade (Ed.), *Working Memory in Perspective* (pp. 101-125). New York: Taylor & Francis Group.

Rabbitt, P. (Ed.). (1997a). *Methodology of frontal and executive function*. Hove, UK: Psychology Press.

Radler, B. T., et Ryff, C. D. (2010). Who participates? Accounting for longitudinal retention in the MIDUS national study of health and well-being. *Journal of Aging and Health*, 22, 307-331.

Radvansky, G. A., Copeland, D. E., Berish, D. E., et Dijkstra, K. (2003). Aging and situation model updating. *Aging, Neuropsychology, and Cognition: A Journal on Normal and Dysfunctional Development*, 10(2), 158-166.

Rast, P., MacDonald, S. W. S., et Hofer, S. M. (2012). Intensive measurement designs for research on aging. *GeroPsych: The Journal of Gerontopsychology and Geriatric Psychiatry*, 25, 45-55.

Reimers, S., et Maylor, E. A. (2005). Task switching across the life span: Effects of age on general and specific switch costs. *Developmental Psychology*, 41, 661– 671. doi.org/10.1037/0012-1649.41.4.661

Rende, B., Ramsberger, G., et Miyake, A. (2002). Commonalities and differences in working memory components underlying letter and category fluency tasks: A dual-task investigation. *Neuropsychology*, 16, 309-321. doi: 10.1037/0894-4105.16.3.309

Rogers, R., et Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207-231.

Rönnlund, L., Nyberg, L., Bäckman, L., et Nilsson, L. G. (2005). Stability, growth and decline in adult life-span development in declarative memory: Cross-sectional and longitudinal data from a population-based sample. *Psychology and Aging, 20*, 3-18.

Salthouse, T. A. (2014). Selectivity of attrition in longitudinal studies in cognitive functioning. *Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 69*(4), 567–574. doi:10.1093/geronb/gbt046

Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., et Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*(4), 566-594. doi: 10.1037/0096-3445.132.4.566

Satz, P. (1993). Brain reserve capacity on symptom onset after brain injury: a formulation and review of evidence for threshold theory. *Neuropsychology, 7*(3), 273-295.

Scarmeas, N., Levy, G., Tang, M.X., Manly, J., et Stern, Y. (2001). Influence of leisure activity on the incidence of Alzheimer's disease. *Neurology, 57*, 2236-42.

Schaie, K. W. (2009). "When does age-related cognitive decline begin?" Salthouse again reifies the "cross-sectional fallacy". *Neurobiology of Aging, 30*(4), 528-533.

Schaie, K. W. (2013). *Intellectual development in adulthood: The Seattle longitudinal study* (2nd Ed.). New-York, NY: Oxford University Press.

Schaie, K. W., Caskie, G. I. L., Revell, A. J., Willis, S. L., Kaszniak, A. W., et Teri, L. (2005). Extending neuropsychological assessment into the Primary Mental Ability space. *Aging, Neuropsychology and Cognition, 12*, 245-277.

Schaie, K. W., et Hertzog, C. (1996). Fourteen-Year Cohort-Sequential Analyses of Adult Intellectual Development. *Developmental Psychology, 19*(4), 531-543.

Schaie, K. W., et Strother, C. R. (1968). A cross-sequential of age changes in cognitive behavior. *Psychological Bulletin*, 70(6), 671-680.

Schaie, K. W., Willis, S. L, et Pennak, S. (2005). An historical framework for cohort differences in intelligence. *Research in Human Development*, 2(1&2), 43-67.

Shao, Z., Janse, E., Visser, K., et Meyer, A. S. (2014). What do verbal fluency tasks measure? Predictors of verbal fluency performance in older adults. *Frontiers in Psychology*, 5(772), 1-10. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00772

Schooler, C., et Mulatu, M. S. (2001). The reciprocal effects of leisure time activities and intellectual functioning in older people: A longitudinal analysis. *Psychology and Aging*, 16, 466–482.

Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. New York: Cambridge Univ. Press.

Shallice, T., et Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: a neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, 261-273.

Singer, T., Verhaeghen, P., Ghisletta, P., Lindenberger, U., et Baltes, P. B. (2003). The Fate of Cognition in Very Old Age: Six-Year Longitudinal Findings in the Berlin Age Study (BASE). *Psychology and Aging*, 18(2), 318-331.

Small, B. J., Dixon, R. A., McArdle, J. J., et Grimm, K. J. (2012). Do Changes in Lifestyle Engagement Moderate Cognitive Decline in Normal Aging? Evidence from the Victoria Longitudinal Study. *Neuropsychology*, 26(2), 144-155.

Smith, E. E., et Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657–1661.

Speth, A., et Ivanoiu, A. (2007). Mémoire de travail et contrôle exécutif. Dans G. Aubin, F. Coyette, P. Pradat-Diehl, & C. Vallat-Azouvi (Eds.), *Neuropsychologie de la mémoire de travail* (p.115-134). Marseille : Solal Editeur.

Stawski, R. S., Smith, J., et MacDonald, S. W. S. (2015). Intraindividual variability and covariation across domains in adulthood and aging: Contributions for understanding behaviour, health and development. Dans M. Diehl, K. Hooker, & M. Sliwinski (Eds.), *The Handbook of intraindividual variability across the life span* (pp. 258-279). New-York, NY: Routledge.

Steffener, J., Reuben, A., Rakitin, B. C., et Stern, Y. (2011). Supporting performance in the face of age-related neural changes: testing mechanistic roles of cognitive reserve, *Brain Imaging Behav.* 5, 212–221.

Steffener, J., et Stern, Y. (2012). Exploring the neural basis of cognitive reserve in aging. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1882, 467-473. doi:10.1016/j.bbadis.2011.09.012

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

Stern, Y. (2007). Cognitive reserve, theory and applications. New-York and London: Taylor & Francis.

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

Stine-Morrow, E. A. L. (2007). The Dumbledore hypothesis of cognitive aging. *Current Directions of Psychological Science*, 16(6), 295-299.

Stuss, D. T., Stethem, L. L., et Pelchat, G. (1988). Three tests of attention and rapid information pro-cessing: An extension. *Clinical Neuropsychologist*, 2(3), 246-250. doi: 10.1080/13854048808520107

Süß, H. M., Oberauer, K., Wittmann, W., Wilhelm, O., et Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability - and a little bit more. *Intelligence*, *30*, 261-288.

Sweeney, J. A., Rosano, C., Berman, R., et Luna, B. (2001). Inhibitory control of attention declines more than working memory during normal aging. *Neurobiology of aging*, *22*, 39-47.

Sylvain-Roy, S., Lungu, O., et Belleville, S. (2015a). Normal aging of the attentional control functions that underlie working memory. *The Journal of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *70*(5), 698-708.

Sylvain-Roy, S., et Belleville S. (2015b). Interindividual differences in attentional control profiles among younger and older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *22*(3), 259-279.

Tomasello, M. (1999). *The cultural origins of human cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Unsworth, N., et Engle, R. W. (2005). Working memory capacity and fluid abilities: Examining the correlation between operation span and Raven. *Intelligence*, *33*, 67-81.

Valenzuela, M. J., et Sachdev, P. (2006). Brain reserve and cognitive decline: A non-parametric systematic review. *Psychological Medicine*, *36*, 1065–1074.

Van der Linden, M., Brédart, S., et Beerten, A. (1994). Age-related differences in updating working memory. *The British Psychological Society*, *85*, 145-152.

Van der Linden, M., Hupet, M., Feyereisen, P., Schelstraete, M. A., Bestgen, Y., Bruyer, R., ... et Seron, X. (1999). Cognitive mediators of age-related differences in language comprehension and verbal memory performances. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *6*, 32-55.

Verhaeghen, P., et Basak, C. (2005). Ageing and switching of the focus of attention in working memory: Results from a modified N-Back task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58A(1), 134-154.

Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., et Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 26(1), 15-20.

Wechsler, D. (2011). Administration and scoring manual: Wechsler Adult Intelligence Scale, Fourth Edition. San Antonio, TX: Psychological Corporation.

Wecker, N. S., Kramer, J. H., Wisnewski, A., Delis, D. C., et Kaplan, E. (2000). Age effects on executive ability. *Neuropsychology*, 14(3), 409-414.

Wilson, R. S., Barnes, L. L., et Bennett, D. A. (2007). Assessment of lifetime participation in cognitively stimulating activities. Dans Y. Stern (Ed.), *Cognitive Reserve: Theory and Applications* (pp. 159-172). New-York, NY: Taylor and Francis group.

Wilson, R. S., Li, Y., Aggarwal, N. T., Barnes, L. L., McCann, J. J., Gilley, D.W., et Evans, D. A. (2004). Education and the course of cognitive decline in Alzheimer disease. *Neurology*, 63, 1198-1202.

Wilson, R. S., Segawa, E., Boyle, P. A., et Bennett, D. A. (2012). Influence of late-life cognitive activity on cognitive health. *Neurology*, 78, 1123-1129.

Zahodne, L. B., Glymour, M. M., Sparks, C., Bontempo, D., Dixon, R. A., MacDonald, S. W. S., et Manly, J. J. (2011). Education does not slow cognitive decline with aging: 12-year evidence from the Victoria longitudinal study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17, 1039–1046.

