

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

EXAMEN DES EFFETS DE TRANSFERT SUITE À UN ENTRAÎNEMENT EN
DOUBLE-TÂCHE CHEZ LES JEUNES ADULTES ET LES AINÉS

THÈSE PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR
MAXIME LUSSIER

SEPTEMBRE 2015

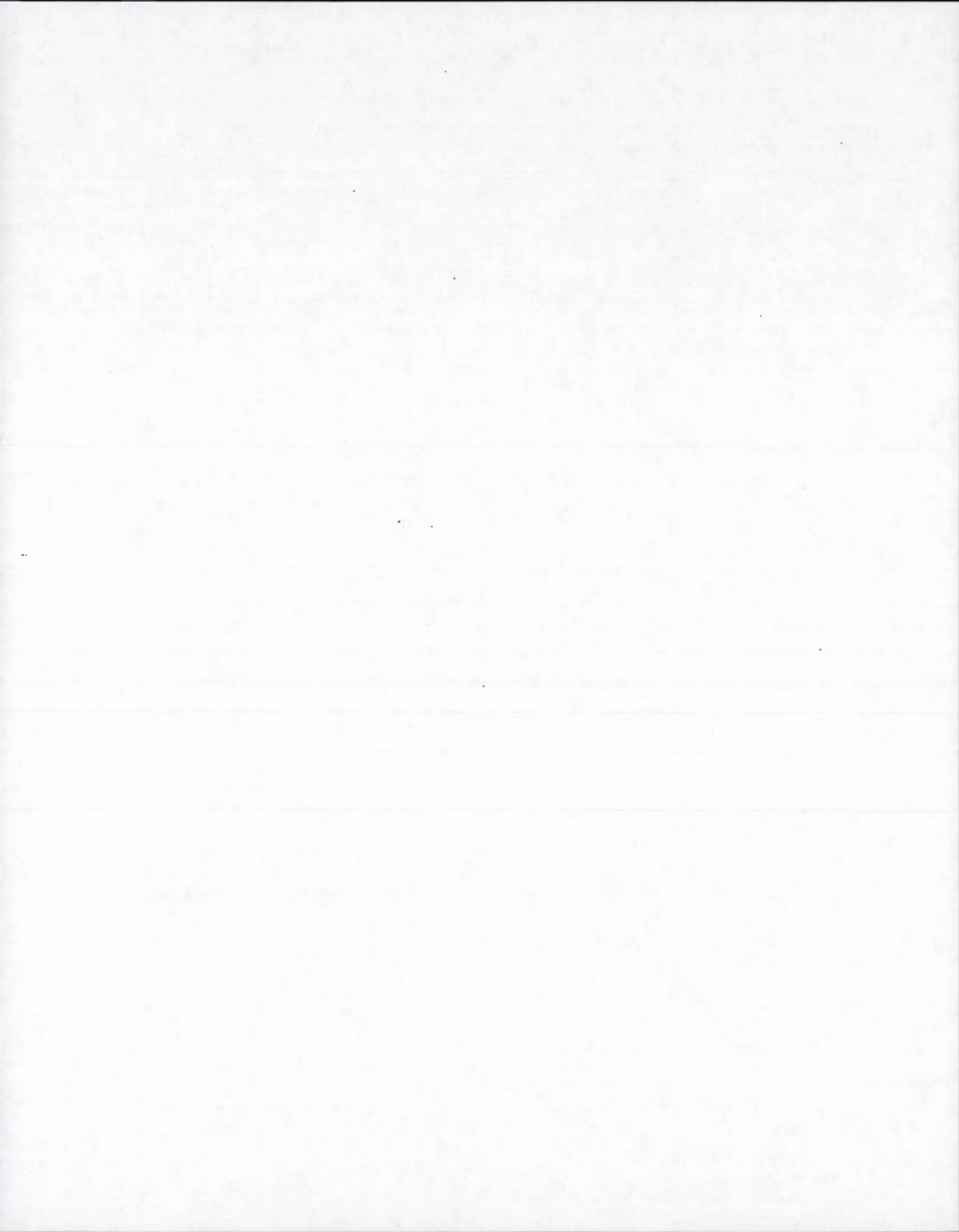
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»



Cet ouvrage est conforme à la nouvelle orthographe.



REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Louis Bherer, avec qui je travaille depuis maintenant huit ans. Louis, tu as su me laisser beaucoup de liberté, ou, comme on dirait, « toute la corde pour me pendre » et je t'en suis très reconnaissant, parce ça m'a permis d'explorer tous les sujets qui me passionnent, et ce, tout en t'ayant comme filet de sécurité. Malgré les mille et un projets que tu as toujours en cours, quand je vais te voir avec un problème, tu as toujours un commentaire hyper pertinent et « *spot on* » : c'est comme si tu avais lu l'entièreté de ma thèse juste avant que j'entre dans ton bureau. Tu es une source d'inspiration importante pour moi. Grâce à toi, je termine mon doctorat avec un parcours dont je suis fier et avec le gout d'aller plus loin.

Je tiens aussi à remercier tous les membres de laboratoire, qu'ils soient kinésio, physio, psycho, de l'UQAM, de Concordia ou d'ailleurs. C'est toujours très motivant et stimulant de travailler avec vous. Un merci particulier à Philippe, mon compagnon d'armes en informatique. Aussi, merci spécial à Francis, Christine et Véronique, qui sont mes parrains et marraines de recherche et qui m'ont accueilli. Merci de m'avoir adopté, un certain mois d'avril de 2007, je suis vraiment chanceux de vous avoir rencontrés !

Merci à mes superviseurs de stage. Merci pour votre patience et votre générosité. J'ai peut-être choisi d'aller faire un postdoc en recherche, mais vous m'avez vraiment donné la pique de la clinique et je vous promets que je vais tout faire pour que ma recherche puisse avoir des retombées directes sur les cliniciens! Et ce n'est pas une promesse électorale ça !

Sur une note plus personnelle, j'aimerais aussi remercier mes parents, Roger et Johanne, qui m'ont toujours fait sentir que j'avais une équipe de soutien derrière moi. Quand j'étais trop débordé pour faire des rénovations, des boîtes de déménagements ou carrément pour me faire des lunchs pour la semaine, mes parents ont toujours été là pour prendre le relais et m'encourager. Ça fait toute la différence de vous savoir derrière moi.

Finalement, j'aimerais remercier ma femme, Corinne, qui m'a offert son support tout au long de cette folle aventure qu'est le doctorat en psychologie et avec qui j'ai très hâte de partager le prochain chapitre qui débutera à Bordeaux. Je n'y serais jamais arrivé sans la grande confiance que tu as en mes capacités. Tu me donnes des ailes !

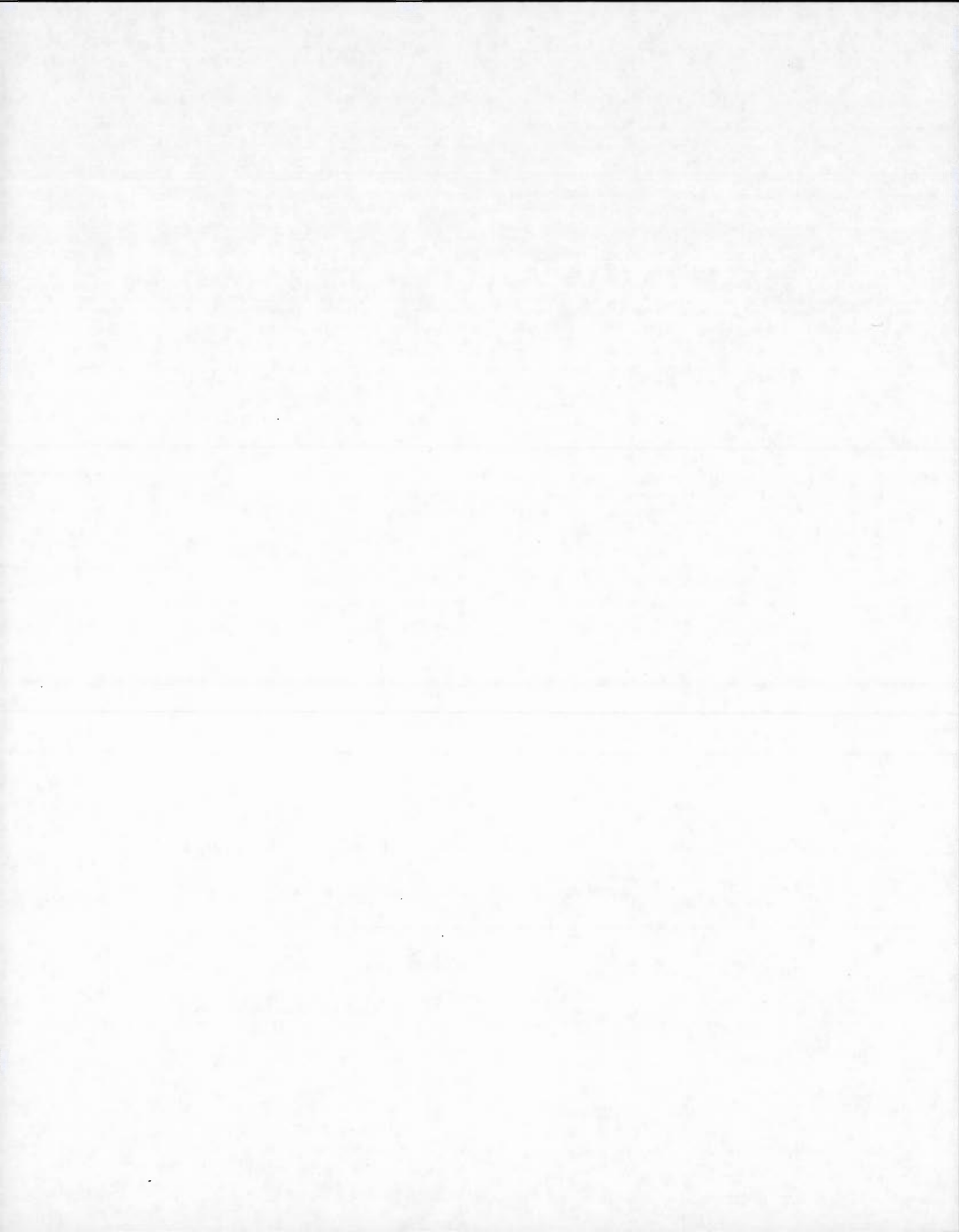
Merci.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iv
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	xiv
RÉSUMÉ	xvii
CHAPITRE I	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.1 Vieillesse et déclin cognitif	1
1.2 Déclin des fonctions exécutives et impacts fonctionnels.....	2
1.3 Modèle des fonctions exécutives	4
1.4 L'attention divisée.....	5
1.5 Réserve cognitive et style de vie.....	18
1.6 Entraînement cognitif.....	21
1.7 Présentation des questions de recherches générales : Étendue et limites du transfert et facteurs pouvant influencer le transfert.....	39
CHAPITRE II	
ARTICLE 1 - <i>AN INVESTIGATION OF RESPONSE AND STIMULUS MODALITY TRANSFER EFFECTS AFTER DUAL-TASK TRAINING IN YOUNGER AND OLDER ADULTS</i>	50
2.1 Abstract	53
2.2 Introduction.....	54
2.3 Method	60
2.4 Results.....	65

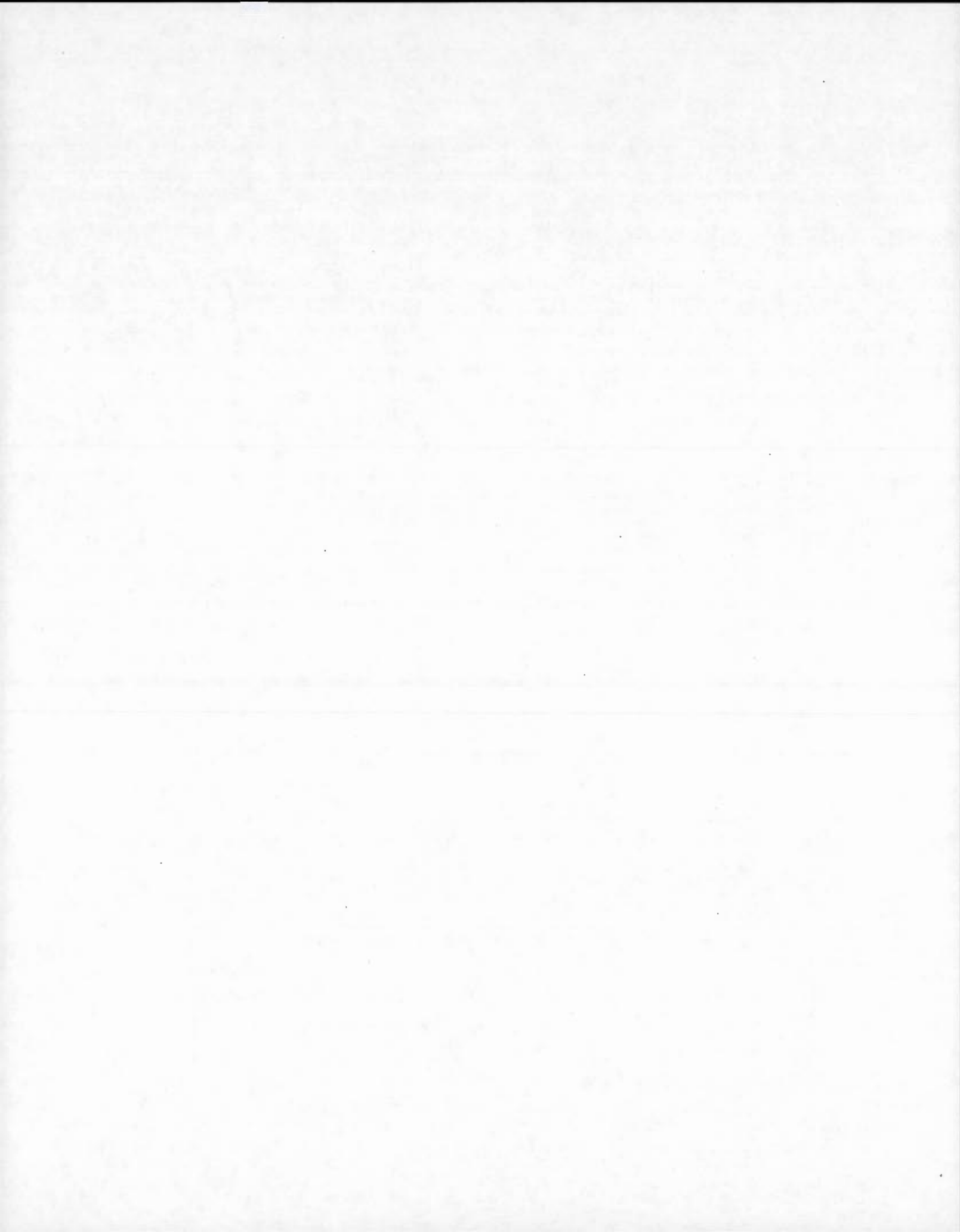
2.5	Discussion	68
2.6	References	74
2.7	Figure captions	83
CHAPITRE III		
ARTICLE 2 - <i>SPECIFIC TRANSFER EFFECT FOLLOWING VARIABLE</i>		
<i>PRIORITY DUAL-TASK TRAINING IN OLDER ADULTS</i>		89
3.1	Abstract	91
3.2	Introduction	92
3.3	Method	97
3.4	Results	103
3.5	Discussion	107
3.6	References	112
3.7	Figure captions	118
CHAPITRE IV		
ARTICLE 3 - <i>BENEFITS OF HETEROGENEOUS DUAL-TASK TRAINING ON</i>		
<i>TRANSFER EFFECTS IN OLDER ADULTS</i>		123
4.1	Abstract	125
4.2	Introduction	126
4.3	Method	129
4.4	Results	134
4.5	Discussion	138
4.6	References	142
4.7	Figure captions	150

CHAPITRE V	
DISCUSSION GÉNÉRALE	153
5.1 L'étendue du transfert	153
5.2 Entrainement à priorité variable et effets de transfert.....	161
5.3 Entrainement hétérogène et effet de transfert	168
CONCLUSION	175
BIBLIOGRAPHIE	177



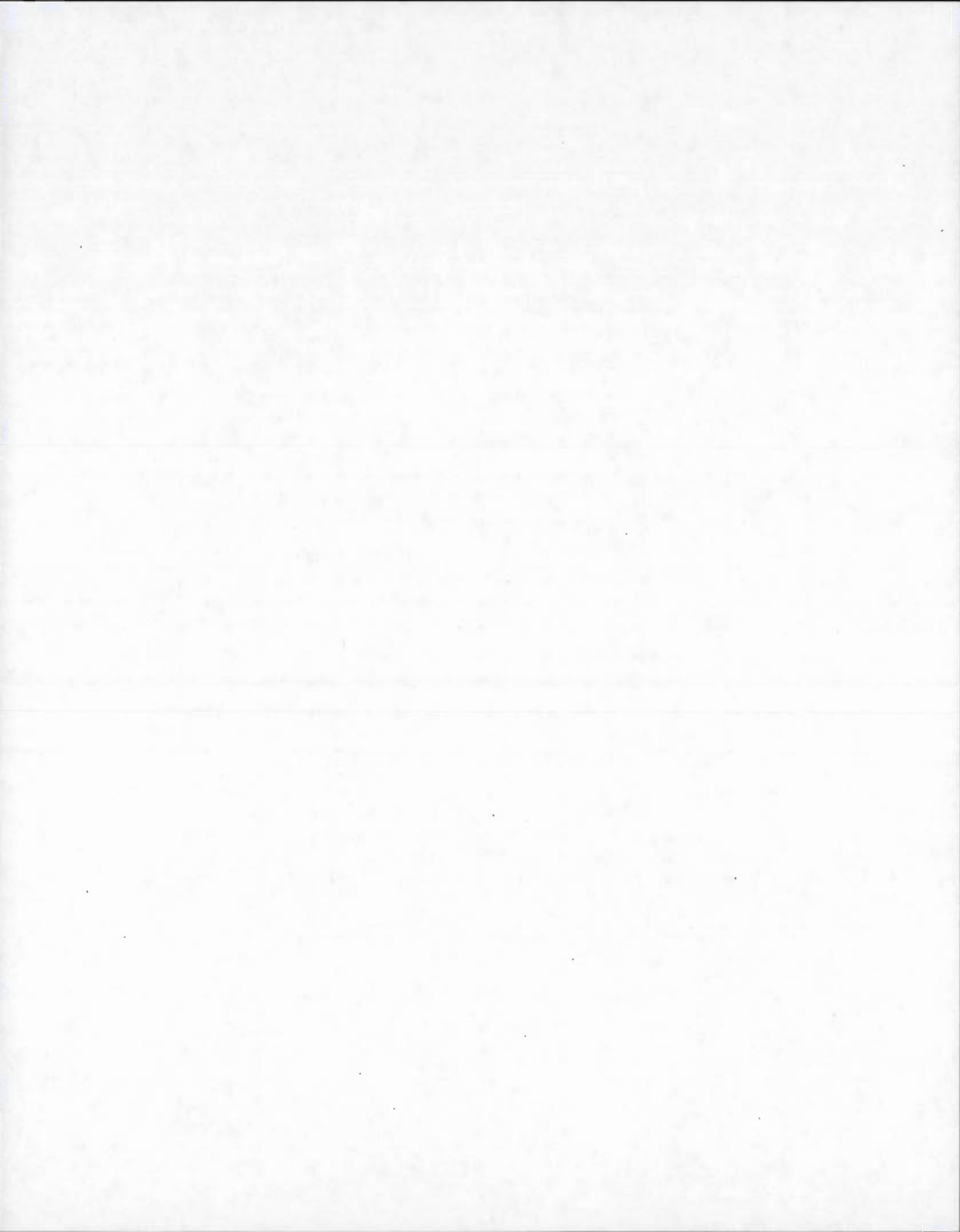
LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Demographic Data and Performance Scores on the Tests Measuring Cognitive Functions.....	79
2.2	Blocks and trials on the dual-tasks before, during and after training	80
2.3	Results of the Analyses of Variance Performed on Accuracy for the Trained and Transfer Tasks Comditions Used in the Pretraining and Posttraining Session.....	81
2.4	Results of the Analyses of Variance Performed on Reaction Time for the Trained and Transfer Conditions Used in the Pretraining and Post-training Sessions	82
3.1	Baseline demographic and neuropsychological data.....	116
4.1	Baseline demographic and neuropsychological data.....	148
4.2	Program schedule for each group of participants	149



LISTE DES FIGURES

Tableau	Page
2.1	Mean reaction time (ms) for younger and older adults in the three trial types within training sessions 84
2.2	Mean reaction time (ms) in older and younger adults at pretraining and posttraining session, for the trained tasks, the response modality transfer task, the stimuli modality transfer task, and the stimuli-response modality transfer task. 85
2.3	Mean task-set cost and dual-task cost in older and younger adults at pretraining and posttraining session, for the trained tasks, the response modality transfer task, the stimuli modality transfer task, and the stimuli-response modality transfer task. 87
3.1	Comparison of participants' mean reaction time, based on priorities instructions, on dual-mixed trials during the variable priority training. Bars represent standard error. 119
3.2	Mean reaction time and costs on the five sessions of training for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT). Bars represent standard error. 120
3.3	Mean costs on the near modality transfer task (visual) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation. Bars represent standard error. 121
3.4	Mean costs on the far modality transfer task (auditory) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation. Bars represent standard error. 122
4.1	Mean costs on the far modality transfer task (auditory) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation. 151
4.2	Mean task-set cost and dual-task cost on the near modality transfer task (visual- Top Panel) and far modality transfer task (auditory- Bottom panel) for homogeneous training, heterogeneous training, and active placebo groups. TSC: task-set cost, DTC: Dual-task cost..... 152



LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ACS Activités cognitivement stimulantes

AVQ Activités de la vie quotidienne

DM [essais] Double-mixte

EPF Entraînement à priorité variable

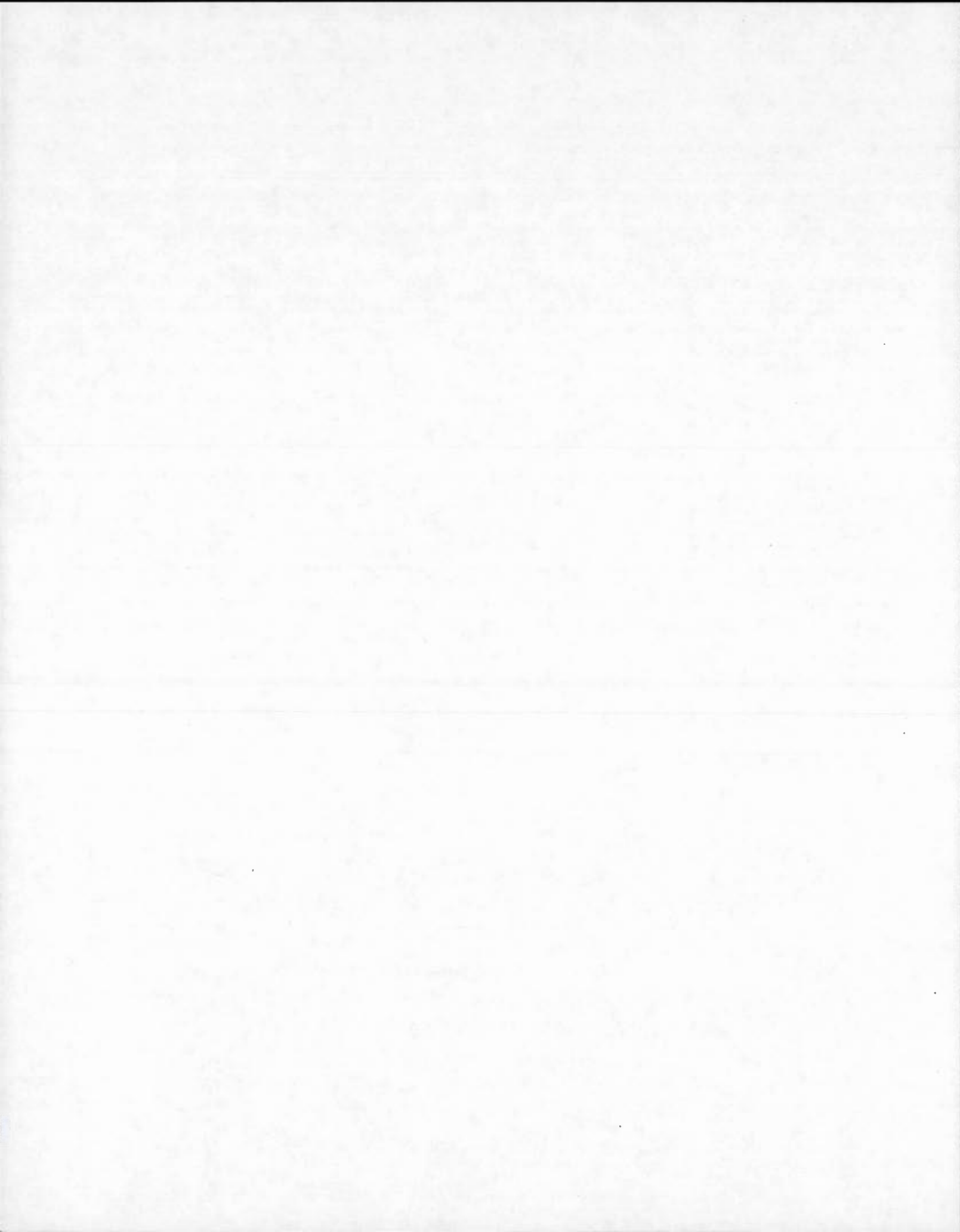
EPV Entraînement à priorité fixe

PRP Période réfractaire psychologique

SM [essais] Simple-mixte

SP [essais] Simple-pure

UFOV « Useful Field Of View »



RÉSUMÉ

Entre l'an 2000 et 2050, la proportion mondiale des gens âgés de 60 ans et plus doublera, passant de 11 % à 22 % et atteignant les 2 milliards (Organisation mondiale de la santé, 2014). Il est connu que les personnes âgées ont des difficultés particulièrement marquées lorsque vient le temps de faire deux choses en même temps, ce qu'on attribue à un déficit de l'attention divisée associé au vieillissement normal (McDowd et Shaw, 2000; Verhaeghen, 2003; Verhaeghen et Cerella, 2002). Cette diminution de l'attention divisée a été entre autres associée à un plus grand risque de chutes lors de la marche (Beauchet, Annweiler, Allali, Berrut et Dubost, 2008; Beauchet et coll., 2009; Beauchet et coll., 2007), d'accidents automobiles (Hoffman, McDowd, Atchley et Dubinsky, 2005; Wood, Chaparro, Lacherez et Hickson, 2012) et de troubles liés à l'incontinence (Fraser, Elliott, de Bruin, Bherer et Dumoulin, 2014; Lussier, Renaud, Chiva-Razavi, Bherer et Dumoulin, 2013). Malgré ce déficit lié à l'âge, plusieurs études ont démontré que les personnes âgées pouvaient améliorer leur performance en situation de double-tâche et ce, même de façon plus marquée que les jeunes adultes (Bherer et coll., 2005a, 2008; Kramer, Larish et Strayer, 1995a; Kramer, Larish, Weber et Bardell, 1999). Ces observations portent à croire que l'entraînement cognitif peut réduire l'écart de performance entre les jeunes et les aînés et donc compenser pour les effets du vieillissement. Toutefois, un objectif crucial de l'entraînement cognitif est de générer du transfert, c'est-à-dire d'engendrer des bénéfices pouvant se généraliser à des situations différentes de celles entraînées. D'un point de vue fondamental, les effets de transfert permettent de suggérer que l'entraînement permet d'améliorer une fonction cognitive et non simplement une association spécifique entre un stimulus et une réponse dans un contexte donnée (Lindenberger, 2014). D'un point de vue clinique, le transfert pourrait engendrer des bénéfices dans les activités de la vie quotidienne suite à un entraînement effectué sur l'ordinateur dans un laboratoire (Hertzog, Kramer, Wilson et Lindenberger, 2009; Schmiedek, Lovden et Lindenberger, 2014). Toutefois, les déterminants du transfert (p. ex., nature de l'entraînement, similarité entre les tâches) sont encore peu étudiés. Cette thèse porte donc sur les effets de transfert suite à un entraînement de l'attention divisée chez les personnes âgées.

La première étude de cette thèse aborde les limites du transfert. Bien que certaines études aient rapporté un transfert proximal en modifiant la nature des stimulus utilisés, aucune étude n'avait examiné le transfert distal de façon systématique, soit en variant les modalités de stimulus et/ou de réponses (Zelinski, 2009). Nous avons recruté 23 personnes âgées et 23 jeunes adultes. Dans chaque groupe d'âge, treize participants ont suivi un entraînement en double-tâche de cinq séances d'une heure et les autres participants ont été attribués à une liste d'attente. Suite à l'entraînement, tous les participants ont été évalués à la tâche entraînée et à trois tâches de transfert

distal : 1) différentes modalités de stimulus, 2) différentes modalités de réponse, 3) différentes modalités de stimulus et de réponse. Les résultats ont montré que les participants entraînés se sont davantage améliorés dans toutes les conditions. Lorsque les modalités de stimulus ou de réponses variaient, des effets de transfert spécifiques à la coordination des deux tâches ont été observés, ce qui n'a pas été observé lorsque les modalités de stimulus et de réponse variaient. Les effets de transfert sont comparables entre les jeunes et les aînés. La première étude suggère donc d'une part que le transfert modal distal est possible mais qu'il présente certaines limites, et d'autre part que les effets de transfert sont préservés dans le vieillissement normal.

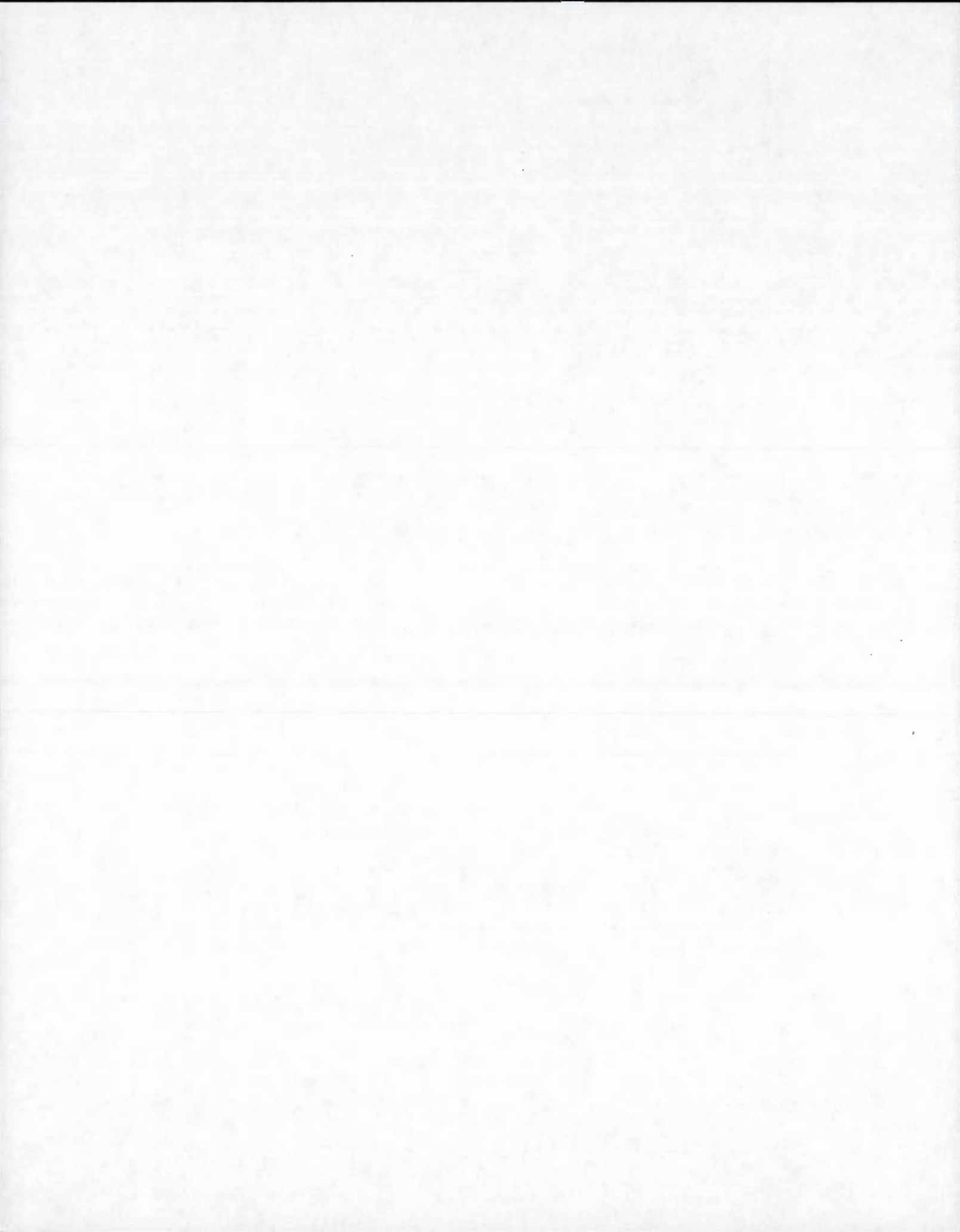
La deuxième étude vise à mieux comprendre les modalités d'entraînement pouvant influencer le transfert. Plusieurs auteurs ont suggéré que le fait de varier certains aspects de l'entraînement pourrait mener à un apprentissage moins spécifique au contexte entraîné, favorisant ainsi les effets de transfert (Geusgens, Winkens, van Heugten, Jolles et van den Heuvel, 2007; Green et Bavelier, 2008b; Schmidt et Bjork, 1992). Une forme de variation existante dans le cadre de l'entraînement de l'attention divisée est l'entraînement à priorité variable. Lors d'un entraînement en double-tâche avec priorité variable, les participants doivent prioriser une tâche ou l'autre ou donner une priorité égale aux deux tâches. Plusieurs études rapportent que ce type d'entraînement mène à une amplitude d'amélioration plus importante dans le cadre de l'entraînement en comparaison à un entraînement à priorité fixe (Bier, de Boysson et Belleville, 2014; Boot et coll., 2010b; Kramer, Larish et Strayer, 1995b; Kramer, Larish, et coll., 1999; Silsupadol, Lugade, et coll., 2009), mais son impact sur les effets de transfert demeure mitigé. Nous avons donc comparé l'entraînement en double-tâche à priorité variable ($n = 27$), l'entraînement à priorité fixe ($n = 18$) et un placebo actif ($n = 38$) sur les effets de transfert proximal et distal. Les résultats ont montré que l'entraînement à priorité variable mène à plus de transfert proximal et distal que les autres types d'intervention et que les effets de transfert étaient en partie spécifiques à la capacité de coordonner deux tâches.

Toujours dans l'optique de varier le contexte de l'entraînement afin de permettre un apprentissage plus indépendant des éléments de surface de la tâche, nous avons mené une troisième étude pour comparer trois conditions : un entraînement hétérogène composé de trois différentes combinaisons de double-tâches visuomotrices ($n = 14$), un entraînement homogène composé d'une seule combinaison ($n = 13$) et un placebo actif. Les trois types d'intervention se déroulaient sur 12 séances d'une heure. Les résultats ont montré que les deux types d'entraînement ont engendré plus d'effets de transfert proximaux que le placebo actif. De plus, l'entraînement hétérogène est la seule intervention qui ait mené à une amélioration significative et spécifique de la capacité de coordonner deux tâches. Finalement, l'entraînement hétérogène a mené à

une plus grande vitesse d'amélioration que l'entraînement homogène lors de nouveaux contextes dans le cadre de l'entraînement.

En somme, la présente thèse apporte une contribution majeure dans la littérature sur les effets de l'entraînement cognitif chez les personnes âgées et amène une meilleure compréhension des limites du transfert et des facteurs pouvant favoriser le transfert suite à un entraînement cognitif de l'attention divisée.

MOTS-CLÉS : vieillissement, attention divisée, transfert des apprentissages, entraînement cognitif, fonctions exécutives



CHAPITRE I INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 Vieillesse et déclin cognitif

Entre l'an 2000 et 2050, la proportion mondiale des gens âgés de 60 ans et plus doublera, passant de 11 % à 22 % et atteignant les 2 milliards d'ici 2050 (Organisation mondiale de la santé, 2014). De 1986 à 2010, le nombre de personnes âgées au Canada est passé de 2,7 millions à 4,8 millions, soit une proportion passant de 10 % à 14 %. Le Québec compte près de 1,3 million de personnes âgées de 65 ans ou plus, dont environ 160 000 sont âgées de 85 ans ou plus. Avec l'entrée massive des baby-boomers nés après 1945 et l'espérance de vie qui a augmenté, on estime que la proportion de personnes âgées de 65 ans ou plus dans la population canadienne passera de 16 % (en 2011) à 26 % en 2031, ce qui représente une augmentation d'un million d'ainés (Institut canadien d'information sur la santé, 2011).

Selon le Recensement du Canada de 2009, 96 % des personnes québécoises âgées de 65 à 74 ans vivent chez elles, mais cette proportion diminue à 83 % pour les 75 à 84 ans, puis à 61 % pour les 85 ans et plus. Or, 87% des Canadiens âgés de 55 ans ou plus souhaitent vivre chez eux le plus longtemps possible (Chappell et Hollander, 2011). L'un des multiples facteurs pouvant mener un individu à ne plus pouvoir demeurer à son domicile est le déclin des fonctions cognitives. En effet, le déclin cognitif peut affecter directement la qualité de vie et peut diminuer le niveau fonctionnel d'un individu. Le terme « niveau fonctionnel » réfère à la capacité de demeurer autonome à son domicile et d'accomplir efficacement les activités de la vie quotidienne (AVQ). Toutefois, la cognition regroupe un ensemble de fonctions (p. ex. : attention, mémoire, langage, fonctions exécutives, etc.) et ces fonctions

n'affectent pas de façon homogène le déclin fonctionnel et ne déclinent pas de façon homogène lors du vieillissement normal.

1.2 Déclin des fonctions exécutives et impacts fonctionnels

On sait que les connaissances générales et la mémoire sémantique sont maintenues et peuvent même augmenter avec l'avancée en âge (Baltes, Staudinger et Lindenberger, 1999; Singer, Verhaeghen, Ghisletta, Lindenberger et Baltes, 2003). Par opposition, la vitesse de traitement, la mémoire épisodique et les fonctions exécutives sont susceptibles de décliner au cours du vieillissement normal (Salthouse, Atkinson et Berish, 2003; Singer et coll., 2003; West, 1996). Les fonctions exécutives ont retenu beaucoup d'attention au cours des deux dernières décennies puisqu'elles sont parmi les premières fonctions cognitives à subir les effets délétères du vieillissement normal (Amieva, Phillips et Della Sala, 2003; Andres et Van der Linden, 2000; Bherer, Belleville et Hudon, 2004). Les fonctions exécutives sont généralement décrites comme un ensemble hétérogène de processus cognitifs distincts qui s'orientent vers un but (Association québécoise des neuropsychologues, 2015; Jurado et Rosselli, 2007) et qui sont fortement, mais non exclusivement, sous-tendus par la région préfrontale du lobe cérébral frontal (Alvarez et Emory, 2006). Cette région cérébrale est particulièrement sensible au vieillissement normal (Raz, 2000; Soderlund, Nyberg et Nilsson, 2004), ce qui pourrait expliquer pourquoi plusieurs études rapportent un déclin de l'efficacité des fonctions exécutives en vieillissant (Verhaeghen, 2003). De façon intéressante, les fonctions exécutives pourraient avoir un effet médiateur sur les problèmes de mémoire (Baudouin, Clarys, Vanneste et Isingrini, 2009; Crawford, Dickson et Banos, 2000) et évolueraient de façon partiellement indépendante de la vitesse de traitement (Albinet, Boucard, Bouquet et Audiffren, 2012).

Plusieurs études ont observé un lien entre l'état des fonctions exécutives et le niveau fonctionnel des personnes âgées. Par exemple, on rapporte que, parallèlement aux problèmes de mémoire, les fonctions exécutives peuvent prédire un déclin des capacités fonctionnelles tant chez les personnes âgées ayant des troubles cognitifs que chez celles qui n'en ont pas (Bell-McGinty, Podell, Franzen, Baird et Williams, 2002; Cahn-Weiner, Ready et Malloy, 2003; Farias, Mungas, Reed, Harvey et DeCarli, 2009; Johnson, Lui et Yaffe, 2007; Pereira, Yassuda, Oliveira et Forlenza, 2008). Par exemple, Cahn-Weiner et coll. (2007) ont examiné les fonctions exécutives, la mémoire, le volume cérébral et le niveau fonctionnel autorapporté aux AVQ de 109 participants ($m = 72.5$ ans) pendant une période d'environ 5,5 ans. Dans leurs résultats, seul le score composite aux mesures exécutives permettait de prédire de façon indépendante un déclin du score aux AVQ (voir aussi (Royall, Palmer, Chiodo et Polk, 2004). On postule même que, tant que les fonctions exécutives sont préservées, un individu peut demeurer productif et autonome malgré des pertes cognitives significatives dans d'autres domaines cognitifs, tels que le langage, la mémoire, le raisonnement, la coordination des mouvements (Lezak, 2004). Chez les aînés vivant dans la communauté, les performances aux épreuves exécutives seraient même associées aux capacités physiques et donc, indirectement aux capacités fonctionnelles (Desjardins-Crépeau et coll., 2014). Aussi, chez les personnes âgées atteintes de troubles cognitifs légers, la présence de trouble exécutif est associée à davantage de troubles de dépression, d'anxiété, d'agitation, de désinhibition, d'irritabilité et de problèmes de sommeil, alors que cette association n'est pas observée pour la mémoire (Rosenberg, Mielke et coll. 2011). Ainsi, le déclin normal des fonctions exécutives lors du vieillissement pourrait entraîner des impacts concrets sur le fonctionnement au quotidien.

1.3 Modèle des fonctions exécutives

Bien que l'ensemble des fonctions exécutives partagent une variance commune, qui est souvent associée à la mémoire de travail ou à l'intelligence fluide (McCabe, Roediger, McDaniel, Balota et Hambrick, 2010; Salthouse et coll., 2003), la plupart des modèles théoriques divisent les fonctions exécutives en un nombre variable de fonctions. L'un des modèles les plus cités dans la littérature récente est celui de Miyake (2000) qui propose trois fonctions : l'inhibition, soit la capacité de s'abstenir de commettre une action ou de résister aux distractions, la mise à jour, soit la capacité de manipuler des informations en mémoire de travail, et l'alternance, soit la capacité d'alterner entre différentes tâches selon les changements de l'environnement. Le modèle contient aussi, parallèlement aux trois fonctions initiales, une quatrième fonction qui varie distinctement des autres : l'attention divisée, soit la capacité de partager son attention entre plusieurs tâches simultanément (Logie, Cocchini, Delia Sala et Baddeley, 2004; Miyake et Friedman, 2012; Miyake et coll., 2000). Selon ce modèle, il existe une variance partagée par toutes fonctions exécutives et une portion distincte à chacune. La portion partagée des fonctions exécutives est interprétée comme l'habileté de maintenir un but et d'influencer les processus de plus bas niveau pour mener ce but à terme. Plus récemment, l'inhibition a été retirée des fonctions exécutives distinctes étant donné que sa variance est entièrement expliquée par la portion partagée des fonctions exécutives (Miyake et Friedman, 2012). Certains suggèrent que les fonctions exécutives de base (c.-à-d.: mise à jour, alternance, attention divisée) soutiennent des fonctions exécutives supérieures telles que la résolution de problème, le raisonnement et la planification (Diamond, 2013).

Or, une multitude de données probantes démontrent que certaines fonctions exécutives de base pourraient plus fortement affecter les capacités fonctionnelles que d'autres. Dans une étude de Johnson et coll. (2007), 7 717 femmes âgées ($m = 73,3$ ans) ont été évaluées sur une mesure d'état global de la cognition (MMSE) et une

mesure d'alternance (Trail B), puis elles ont été suivies pendant une période de six ans. En ajustant pour l'âge, l'éducation, les comorbidités, la dépression et le niveau fonctionnel autorapporté aux AVQ, l'étude conclut que les femmes ayant un état cognitif global dans la moyenne, mais ayant eu une faible performance en alternance ont 1,5 fois plus de chance de voir leur niveau fonctionnel significativement diminuer (1,1 si déficit au MMSE seulement). Par le biais d'analyses factorielles confirmatoires auprès de 75 participants (m : 72 ans), Vaughan et Giovanello (2010) ont démontré une relation directe entre un modèle des fonctions exécutives à 3 facteurs (inhibition, mise à jour et alternance) et les performances à des épreuves mesurant le niveau fonctionnel aux AVQ : la mise à jour était plus fortement liée avec la performance aux AVQ ($R=0,40$), suivi de la alternance ($R=0,22$) et de l'inhibition ($R=0,10$). À l'inverse, par le biais de régression pas-à-pas, Jefferson, Paul, Ozonoff et Cohen (2006) ont identifié l'inhibition comme étant la composante la plus fortement liée à un déclin de la capacité d'accomplir les AVQ.

Pendant longtemps, l'attention divisée n'a été que peu étudiée en comparaison aux autres fonctions exécutives proposées par Miyake, en raison du fait qu'il est difficile de l'évaluer de façon adéquate à l'aide de tests avec papier et crayon. Avec la popularisation des tests électroniques, l'attention divisée reçoit beaucoup d'intérêt et est maintenant fréquemment associée au niveau fonctionnel des individus.

1.4 L'attention divisée

Il est généralement plus difficile de traiter plusieurs sources d'informations qu'une seule. Ceci a mené à la mise en place de plusieurs modèles théoriques visant à expliquer cette limitation dans le traitement de l'information. Trois modèles sont plus souvent rapportés : le partage des ressources attentionnelles, le canal unique de traitement et les canaux de traitement parallèles. Le modèle du partage des ressources

attentionnelles stipule qu'un individu a des ressources attentionnelles limitées, qu'il peut distribuer entre diverses tâches (Tombu et Jolicoeur, 2005). Ainsi, lorsque deux tâches exigeantes sont effectuées simultanément, le temps de traitement de chaque tâche augmente. Selon cette approche, si l'une des deux tâches est relativement simple et/ou surprenante, le ralentissement de la vitesse de traitement sera moins important. De plus, il serait possible de consciemment allouer davantage de ressources à une tâche priorisée.

Un autre modèle couramment étudié est la théorie du canal unique de l'information. Selon ce modèle, il existerait un goulot d'étranglement par lequel toute information devrait être traitée. Lorsque deux tâches requièrent d'être traitées en succession rapide, la première tâche traitée occupera le goulot de sorte que la deuxième tâche arrivée sera retardée jusqu'à ce que la première tâche soit traitée (Ruthruff, Pashler et Klaassen, 2001; Welford, 1952). Ce modèle permet difficilement d'expliquer le traitement de deux tâches simultanées à moins qu'une des deux tâches soit totalement automatisée et qu'elle ne requiert peu ou pas d'attention consciente.

Finalement, le modèle des canaux multiples se base sur le modèle à canal unique, mais suggère qu'il existe plusieurs voies de traitement. Ainsi, deux tâches peuvent être exécutées quasi simultanément, à condition qu'elles ne recrutent pas les mêmes ressources et n'empruntent ainsi pas le même goulot d'étranglement (Pashler, 1994). Autrement dit, le degré d'interférence entre les deux tâches dépendra du degré de conflits entre les deux tâches quant aux réseaux neuronaux recrutés : à chacun des trois stades, c'est-à-dire, lors de la perception des stimulus, la sélection des réponses et l'exécution des réponses. Plus les deux tâches sont similaires dans leur nature (p. ex.: deux tâches de discrimination visuelle avec réponses manuelles), plus elles risquent d'entrer en conflit et plus il sera difficile d'effectuer les deux tâches parfaitement simultanément (Allen, Smith, Vires-Collins et Sperry, 1998; Glass et

coll., 2000). De plus, des phénomènes d'interférences proactive et rétroactive peuvent avoir lieu si les tâches sont conflictuelles ou très similaires (Hazeltine, Diedrichsen, Kennerley et Ivry, 2003; Ruthruff, Pashler et Hazeltine, 2003).

1.4.1 Paradigmes de l'attention divisée

À ce jour, il n'y a pas encore de consensus sur le modèle de l'attention divisée à utiliser, chaque modèle trouvant des appuis dans certains contextes. Plusieurs paradigmes ont été associés, de près ou de loin, à l'évaluation de la capacité d'exécuter deux tâches dans un court délai. Parmi les plus étudiés, on note le paradigme de la PRP et celui de la double-tâche.

Comme mentionné plus haut, dans les modèles du canal unique et des canaux multiples, lorsque deux tâches doivent être traitées en successions rapides, la deuxième tâche arrivée sera retardée jusqu'à ce que la première tâche soit traitée. Ce délai dans l'exécution de la deuxième tâche est appelé l'effet de période réfractaire psychologique (PRP). Plusieurs études rapportent que l'effet PRP est affecté par le vieillissement normal même lorsque l'on contrôle pour le ralentissement général (Hartley, 2001; Salthouse et Miles, 2002). Le paradigme de la PRP a été fréquemment étudié dans l'optique de mieux comprendre les limites fondamentales de l'attention et de discuter de la possibilité d'effectuer deux tâches en parallèle. Ce paradigme a une valeur expérimentale incontestable, mais demeure très loin de la réalité et ne permet pas de tester comment une personne gère la priorisation et la coordination, ce qui représente en fait l'essence de l'attention divisée. De plus, il n'adresse pas directement le traitement parallèle de deux tâches simultanées auxquelles on accorde la même priorité.

De fait, l'une des méthodes les plus utilisées pour évaluer l'attention divisée est le paradigme de la double-tâche. Ce dernier permet d'étudier de façon analytique l'architecture de l'attention divisée en isolant les différentes composantes de la double-tâche (Della Sala, Baddeley, Papagno et Spinnler, 1995). Dans ce paradigme, on demande aux sujets d'allouer leur attention à deux tâches en même temps. Comme les ressources en mémoire de travail sont limitées, accomplir deux tâches simultanément requiert une quantité de ressources qui dépasse les stocks disponibles. Alors, il faut sacrifier l'une des tâches ou les deux tâches, ce qui conduit à une détérioration de la performance (perte de précision ou diminution de la vitesse (Hartley et Little, 1999; Meyer et Kieras, 1997; Navon et Miller, 2002). À la différence du paradigme de la PRP, en double tâche, l'ordre dans lequel les deux tâches doivent être accomplies n'est généralement pas indiqué aux participants. Ce dernier a pour consigne principale d'exécuter les deux tâches le plus rapidement possible (Baddeley et Della Sala, 1996). Dans plusieurs études, les stimulus de chacune des deux tâches sont présentés simultanément et on demande aux participants d'accorder la même priorité aux deux tâches.

Afin de mesurer le plus fidèlement possible l'attention divisée et de contourner le défi de l'impureté des tâches exécutives (Miyake et coll., 2000), l'analyse de l'attention divisée profite de la comparaison de différents types d'essais afin d'isoler les différentes fonctions associées à la double-tâche. L'une des méthodes les plus répandues consiste à comparer la performance des participants au sein de blocs simples (c.-à-d. exécution d'une seule tâche à la fois) avec leur performance lors de blocs doubles (c.-à-d. exécution de deux choses à la fois) (Della Sala et coll., 1995). Ainsi, on extrait la performance spécifique à chacune des deux tâches exécutées séparément pour estimer le coût associé à la coordination des deux tâches. Plus récemment, Schumacher et coll. (2001) ont introduit les blocs mixtes afin d'évaluer plus précisément l'attention divisée. D'une part, comme dans la méthode précédente,

les participants accomplissent des blocs simples, c'est-à-dire qu'ils exécutent chacune des deux tâches séparément. Ces blocs sont constitués d'essais simples purs (SP) qui visent à évaluer la vitesse de traitement général des participants. D'autre part, les participants accomplissent des blocs mixtes au cours desquels ils doivent exécuter des essais simples mixtes (SM) et doubles mixtes (DM). Lors des essais SM, un seul stimulus, d'une tâche ou de l'autre, est présenté alors que, lors des essais DM, un stimulus de chacune des deux tâches est présenté en même temps. Les essais SM et DM sont distribués aléatoirement de sorte que les participants ne peuvent savoir s'ils devront répondre à une ou deux tâches. On observe que les temps de réaction aux essais SM sont plus élevés qu'aux essais SP bien qu'il ne faille répondre qu'à un seul stimulus dans les deux cas; ce phénomène est attribué au fait que les participants doivent se préparer à un plus grand éventail d'associations stimulus-réponses réparti entre deux différentes tâches (Bherer et coll., 2005a; Schumacher et coll., 2001). Ainsi, la différence entre les essais SM et les essais SP est appelée le *cout situationnel*. Les temps de réaction aux essais DM sont également plus élevés qu'aux essais SM. La différence entre ces deux types d'essais nous permet d'isoler les couts qui sont liés à la perception, la prise décision et l'exécution de deux tâches en même temps, c'est-à-dire le *cout de la coordination*. La comparaison entre la vitesse d'exécution d'une seule tâche, le cout situationnel et le cout de la coordination est pertinente d'un point de vue théorique puisqu'elle permet de mieux isoler les changements liés au vieillissement dans la performance en double-tâche, tout en tenant compte des possibles changements de la vitesse psychomotrice ou de la mémoire de travail.

1.4.2 Déclin de l'attention divisée et impacts fonctionnels chez la personne âgée

Il est connu que les personnes âgées ont des difficultés particulièrement marquées lorsque vient le temps de faire deux choses en même temps, ce qu'on attribue à un

déficit de l'attention divisée associé au vieillissement normal (Holtzer, Stern et Rakitin, 2005; Verhaeghen et Cerella, 2002). Des études d'imagerie cérébrales (p. ex. : tomographie par émission de positrons, spectroscopie proche infrarouge fonctionnel, résonnance magnétique) ont d'ailleurs tenté de déterminer en quoi les patrons d'activation spécifiques à l'attention divisée différaient chez les personnes âgées en comparaison aux jeunes adultes dans le but d'offrir un support neurobiologique pour expliquer les déficits en attention divisée observés chez les personnes âgées (Cabeza et Dennis, 2012; Dennis et Cabeza, 2000). Chez les jeunes adultes qui font deux tâches simultanément, on observe le plus souvent une activation spécifique à la tâche dans le cortex cingulé antérieur et dans la région préfrontale du cerveau, notamment le gyrus frontal inférieur et le cortex préfrontal ventral et dorsal (Collette et coll., 2005; D'Esposito et coll., 1995; Herath, Klingberg, Young, Amunts et Roland, 2001; Szameitat, Schubert, Muller et Von Cramon, 2002). En comparant l'activation cérébrale des jeunes adultes à celles des aînés, certaines études ont observé une suractivation spécifique chez les personnes âgées (D'Esposito et coll., 1995; Dux, Ivanoff, Asplund et Marois, 2006; Erickson et coll., 2005; Goldberg et coll., 1998; Herath et coll., 2001; Hsieh et coll., 2009; Jiang, 2004; Koechlin, Basso, Pietrini, Panzer et Grafman, 1999; Schubert et Szameitat, 2003; Sigman et Dehaene, 2008; Stelzel, Brandt et Schubert, 2009; Szameitat, Lepsien, Cramon, Sterr et Schubert, 2006; Szameitat, Schubert, Muller et Cramon, 2002), alors que d'autres ont observé une sous-activation (Jaeggi et coll., 2003; Just et coll., 2001; Just, Keller et Cynkar, 2008). Ce manque de consensus pourrait être attribuable à l'hétérogénéité des tâches d'attention divisée utilisées ainsi qu'à l'éventail de méthodes de contrastes d'activation pouvant être utilisées (Szameitat, Schubert et Muller, 2011). Les études d'imagerie cérébrale ne permettent donc pas encore d'expliquer entièrement le déficit lié à l'âge en attention divisée.

Il n'existe pas non plus de consensus sur les causes de la différence de performance entre les jeunes adultes et les aînés. Dans leur modèle, Glass et coll. (2000) suggèrent que des stratégies de coordination plus prudentes pourraient expliquer en partie que les aînés répondent plus lentement à deux tâches simultanées. D'autre part, Hartley (2001) a observé un ralentissement plus important chez les aînés lorsque les deux tâches exigeaient des réponses manuelles, ce qui suggère que le déficit lié à l'âge se situait dans la sélection de la réponse. Toutefois, Hein et Schubert (2004) ont également observé un ralentissement plus marqué chez les aînés lorsque les modalités des stimulus interféraient entre elles. Dans une revue de récentes méta-analyses, Verhaeghen (2011) affirme que le déclin supposé du fonctionnement exécutif au cours du vieillissement est largement exagéré dans la littérature puisque plusieurs ne tiennent pas compte du ralentissement psychomoteur associé à l'âge. Du même coup, il rapporte que, parmi leurs mesures, seuls les déclins de la performance aux épreuves de double-tâche et d'alternance sont spécifiques au vieillissement normal et non attribuables au ralentissement général (McDowd et Shaw, 2000; Verhaeghen, 2003, 2011; Verhaeghen et Cerella, 2002). Les personnes âgées font plus d'erreurs en condition de double-tâche, mais le ratio d'erreurs entre les conditions double et simple est comparable entre les jeunes adultes et les aînés. Plus précisément, on observe un coût situationnel et un coût de la coordination significativement plus grands chez les aînés que chez les jeunes. De plus, même lorsqu'on contrôle pour le ralentissement général, le coût de la coordination demeure significativement plus grand chez les aînés (Bherer et coll., 2005a, 2008). L'attention divisée serait donc particulièrement sensible au vieillissement normal.

L'attention divisée suscite aussi un intérêt marqué puisqu'un individu rencontre quotidiennement plusieurs situations pour lesquelles il doit partager son attention entre diverses tâches et l'inefficacité dans de telles situations peut avoir des impacts sérieux. Par exemple, avec l'importance grandissante de l'accès aux nouvelles

technologies, les gens sont de plus en plus régulièrement confrontés à des situations de multitâches. Or, de nombreuses études ont démontré que les habiletés cognitives des personnages âgés sont un important prédicteur de la capacité d'utiliser de nouvelles technologies (Czaja et Lee, 2007). De plus, l'attention divisée a été associée à plusieurs facteurs liés aux capacités fonctionnelles. Afin de bien comprendre l'impact du déclin de l'attention divisée sur le niveau fonctionnel des personnes âgées au cours du vieillissement normal, la prochaine section explorera certaines activités de la vie quotidienne qui sont fortement associées à l'attention divisée soit la marche et l'équilibre, la conduite automobile, et l'incontinence urinaire.

1.4.2.1 Marche et équilibre

On estime qu'un tiers des individus âgés de 65 ans et plus tombent chaque année et donc que le risque de blessures associées augmente avec l'âge (Gillespie et coll., 2009). Les victimes peuvent perdre en autonomie et courent un risque augmenté d'être hospitalisées, d'avoir des séquelles cérébrales et de développer des symptômes dépressifs (Grenier, Payette, Langlois, Vu et Bherer, 2014). De plus, de 29 à 55 % des personnes âgées craignent de tomber même en l'absence d'historique de chutes (Yardley et Smith, 2002). Or, la peur de chuter et la perte de confiance en son équilibre prédisent une diminution de la participation à des activités hors de la maison ainsi qu'une diminution des capacités fonctionnelles et, ultimement, un plus haut taux d'admission dans des institutions de santé (Cumming, Salkeld, Thomas et Szonyi, 2000; Franzoni, Rozzini, Boffelli, Frisoni et Trabucchi, 1994; Mendes de Leon, Seeman, Baker, Richardson et Tinetti, 1996).

Plusieurs études ont déjà démontré que la marche est une tâche motrice complexe pouvant requérir les fonctions exécutives (Hausdorff et coll., 2006; Yogev-

Seligmann, Hausdorff et Giladi, 2008). Par exemple, une étude à devis croisé de 926 personnes âgées de plus de 65 a observé une corrélation entre la vitesse de marche et une épreuve d'alternance attentionnelle (Ble et coll., 2005). De plus, le rendement des aînés aux épreuves mesurant le fonctionnement exécutif permettrait de prédire leur performance à des épreuves plus complexes de marche avec évitement d'obstacles (Persad et coll., 1995). Toutefois, dans l'ensemble des fonctions exécutives pouvant avoir un impact sur la marche, l'attention divisée semble jouer un rôle prépondérant sur le risque de chute en vieillissant (Woollacott et Shumway-Cook, 2002). En effet, c'est particulièrement en situation de double-tâche que les personnes âgées sont vulnérables aux chutes et l'évaluation de la marche simple ne permet pas de bien prédire les risques de chutes au quotidien (Yogev-Seligmann et coll., 2008). Par contre, plusieurs auteurs rapportent que la capacité de parler en marchant est un excellent prédicteur de la probabilité de chutes chez les personnes âgées (Lundin-Olsson, Nyberg et Gustafson, 1997; Verghese et coll., 2002). De fait, de faibles performances aux épreuves d'attention divisée permettent de prédire les probabilités de chuter chez les personnes âgées qui tombent de façon récurrente sans cause organiques, nommées « *idiopathic fallers* » (Springer et coll., 2006). Chez ces mêmes individus qui chutent fréquemment, on remarque une augmentation plus significative de la variabilité de la posture en situation de double-tâche. Même chez les personnes âgées sans historique de chutes, on observe également un effet négatif de l'âge sur le centre d'équilibre en position debout, mais seulement lorsqu'une tâche cognitive complexe est effectuée simultanément (Huxhold, Li, Schmiedek et Lindenberger, 2006). Dans le même ordre d'idée, des déficits liés au vieillissement normal ont aussi été observés lorsqu'on demande aux participants de marcher en faisant des tâches de mémorisation (Li, Lindenberger, Freund et Baltes, 2001; Lindenberger, Marsiske et Baltes, 2000), de jugement sémantique (Fraser, Li, DeMont et Penhune, 2007) ou de mémoire de travail (Hollman, Kovash, Kubik et Linbo, 2007). Par conséquent, une série d'études et une méta-analyse suggèrent que de faibles performances en situation de double-tâche impliquant la marche sont l'un des meilleurs prédicteurs de

potentielles chutes (Beauchet et coll., 2008; Beauchet et coll., 2009; Beauchet et coll., 2007) ainsi que des risques d'accrochages en présence d'obstacle (Broman et coll., 2004).

1.4.2.2 Conduite automobile

La diminution ou la cessation de la conduite automobile est associée, pour plusieurs personnes âgées, à une diminution de l'autonomie et de la qualité de vie ainsi qu'à une augmentation de la dépendance aux aidants ainsi qu'aux services formels et informels tels que le transport en commun ou les navettes pour personnes âgées (Ball et Wahl, 2002).

La conduite automobile dépend de processus automatisés, mais aussi du bon fonctionnement des fonctions exécutives pour s'adapter aux diverses demandes de l'environnement. L'attention divisée est essentielle à la conduite automobile puisque celle-ci requiert minimalement la coordination de trois sous-tâches : le contrôle du véhicule, la détection et l'évitement des dangers, et la navigation (Gugerty, 2011). Le déroulement de la conduite peut être significativement perturbé par l'ajout d'une tâche supplémentaire. En effet, avec l'ajout d'une tâche supplémentaire (p. ex. : tâche cognitive, discussion, interaction avec le GPS), on observe une rigidification des comportements automatiques, ce qui se traduit par une centralisation du balayage visuel et une diminution de la détection de stimulus importants (Engström, Johansson et Östlund, 2005; Harbluk, Noy, Trbovich et Eizenman, 2007). Ces changements, bien que subtils lors d'une conduite normale, peuvent avoir des impacts importants lorsqu'un imprévu survient ou lorsqu'une décision doit être prise (Victor, 2005). De façon intéressante, dans le cadre d'une étude où l'on comparait des traumatisés crâniens à des participants contrôles sur leur conduite en réalité virtuelle, la performance des deux groupes différait seulement en situation de double-tâche et non

en conduite simple (Lengenfelder, Schultheis, Al-Shihabi, Mourant et DeLuca, 2002). Même chez les jeunes adultes, avoir une conversation téléphonique en conduisant nuit à la détection de signaux et au temps de réaction pour réagir à ceux-ci (Iqbal, Ju et Horvitz, 2010; Strayer et Johnston, 2001). De plus, toujours chez de jeunes adultes, il a été démontré que la proximité temporelle entre une tâche de discrimination visuelle et une tâche de détection de stimulus entraînant un freinage pouvait significativement ralentir la vitesse de freinage (Hibberd, Jamson et Carsten, 2013).

Pour leur part, les personnes âgées sont plus susceptibles d'être impliquées dans un accident à une intersection (Daigneault, Joly et Frigon, 2002), échouent plus souvent à repérer des signalisations (Trick, Toxopeus et Wilson, 2010) et ont des déficits accrus lorsqu'ils doivent exécuter des tâches cognitives tout en conduisant (McKnight et McKnight, 1993; Sifrit, 2005; Trick et coll., 2010). Comme la conduite automobile est multifactorielle, il n'existe pas encore d'outil pouvant identifier avec précision les individus à risque d'accident (Bedard, Weaver, Darzins et Porter, 2008). Néanmoins, une fois qu'on tient compte des pertes sensorielles, l'une des épreuves les utilisées et les plus efficaces pour prédire les accidents automobiles passés et les performances des aînés dans un circuit est le « *Useful Field Of View* » (UFOV) (Bedard et coll., 2008; Clay et coll., 2005). L'épreuve de l'UFOV est composée de trois sous-tests : 1) identification d'un symbole au centre de l'écran 2) sous-test 1 avec localisation d'un symbole en périphérie, 3) sous-test 2 avec distracteurs. Les trois sous-tests visent l'évaluation respective de la vitesse psychomotrice, de l'attention divisée et de l'attention sélective en situation de double-tâche. Or, on note que les performances aux sous-tests qui requièrent de faire deux tâches simultanément se détériorent plus rapidement en vieillissant (Sekuler, Bennett et Mamelak, 2000). En concordance, ce sont ces mêmes sous-tests qui sont le plus fortement associés avec une diminution des habiletés de conduite automobile (Hoffman et coll., 2005; Wood et coll., 2012). Dans la même lignée, Chaparro, Wood et Carberry (2005) ont démontré que les impacts

négatifs associés à l'accomplissement d'une tâche cognitive en conduisant (calculs mentaux) étaient significativement plus importants chez les personnes âgées. Finalement, des études récentes rapportent que le risque de chutes et la conduite automobile sont liés (Ball et coll., 2006; Margolis et coll., 2002), et que les difficultés sur le plan de l'attention divisée seraient probablement à l'origine de cette association (Gaspar, Neider et Kramer, 2013).

1.4.2.3 Incontinence

Certaines études encore récentes tendent à établir un lien entre l'incontinence urinaire et les fonctions cognitives. L'incontinence urinaire chez les femmes âgées de 60 ans et plus est l'une des problématiques de santé les plus fréquentes, touchant près de 55 % des femmes vivant dans la communauté (Milsom, 2009; Tannenbaum, Mayo et Ducharme, 2005). On sait que les troubles d'incontinence réduisent les capacités fonctionnelles, affectent la qualité de vie et diminuent les probabilités de participer à des activités sociales ou de loisirs à l'extérieur de la maison (Coyne et coll., 2008; Hagglund, Walker-Engstrom, Larsson et Leppert, 2001; Mladenovic Segedi, Segedi et Parezanovic Ilic, 2011).

Plusieurs études soutiennent une corrélation entre de faibles performances cognitives telles qu'évaluées par des tests globaux de la cognition (p. ex. : *Mini-Mental State Examination*) et la présence d'incontinence (Ostbye, Hunskaar et Sykes, 2000; Palmer, Baumgarten, Langenberg et Carson, 2002; Wetle et coll., 1995). Toutefois, en ajustant pour plusieurs facteurs démographiques, cette interaction entre l'incontinence et la cognition globale n'a pas été observée dans la population âgée vivant dans la communauté (Rait et coll., 2005; Wetle et coll., 1995). Néanmoins, plus récemment, une série d'études ont observé une corrélation entre l'incontinence urinaire chez les femmes âgées vivant dans la communauté et les performances à des

épreuves mesurant les fonctions exécutives, dont entre autres des mesures d'alternance et d'attention divisée (Lussier et coll., 2013; Morris et Wagg, 2007; Wakefield et coll., 2010). De plus, certaines études ont montré que l'incontinence urinaire est associée à des risques de chutes plus élevés et que ces derniers sont eux-mêmes associés à des déficits de l'attention divisée (Chiarelli, Mackenzie et Osmotherly, 2009). Bien qu'aucun lien de causalité n'ait été établi entre l'état de fonctions exécutives et l'incontinence urinaire, deux hypothèses non mutuellement exclusives ont été suggérées.

La première stipule que les hyperintensités de la matière blanche sont le médiateur central puisque ces dernières corrèlent avec un éventail de symptômes, dont l'incontinence, les troubles exécutifs et les troubles de mobilités (Wakefield et coll., 2010). La deuxième hypothèse suggère que les femmes qui vivent de l'incontinence urinaire ont de la difficulté à partager leur attention entre les tâches de l'environnement et les distractions causées par l'envie d'uriner et le contrôle moteur du plancher pelvien (Fraser et coll., 2014; Lussier et coll., 2013). Dans cet ordre d'idée, il a été démontré que même chez les individus sans historique d'incontinence, le besoin d'évacuer déclenche une boucle décisionnelle qui s'actualise régulièrement et qui vise à choisir le meilleur scénario tenant compte du niveau d'urgence actuel (Harvey, Finney, Stewart et Gillespie, 2012). De plus, une étude récente a observé que l'intensité du besoin d'uriner entraîne un ralentissement de la marche et une altération de la rythmicité de marche, ce qui peut potentiellement augmenter les risques de chutes (Booth, Paul, Rafferty et Macinnes, 2013). Plus encore, il a été démontré que l'envie d'uriner avait des effets délétères sur des épreuves attentionnelles et de mémoire de travail (Jousse et coll., 2013; Lewis et coll., 2011). Ainsi, il existe probablement un lien entre l'incontinence urinaire et l'attention divisée chez les personnes âgées, mais davantage d'études devront être effectuées afin de mieux comprendre la nature du lien entre ces différentes variables.

1.5 Réserve cognitive et style de vie

Tel qu'il a été vu précédemment, le déclin des fonctions exécutives et, plus particulièrement de l'attention divisée, peut avoir des impacts délétères sur le niveau fonctionnel des personnes âgées en affectant des tâches de la vie quotidienne telles que la marche et l'équilibre, la conduite automobile et l'incontinence urinaire. Toutefois, on constate que le vieillissement est un phénomène très hétérogène, et que plusieurs personnes âgées préservent un bon niveau fonctionnel. En effet, alors que des centaines maintiennent de bonnes habiletés cognitives malgré un âge très avancé, d'autres personnes âgées semblent plus affectées par le vieillissement normal (Motta et coll., 2005). En fait, des études longitudinales ont démontré que la variabilité des performances interindividuelles augmente graduellement à partir de 65 ans (de Frias, Lövdén, Lindenberger et Nilss, 2007) et plus significativement après 75 ans (Small, Dixon et McArdle, 2011).

Il apparait donc pertinent d'identifier quels sont les facteurs qui prédisent un vieillissement cognitif sain. D'une part, l'hétérogénéité liée au vieillissement serait attribuable à de nombreuses pathologies dont la prévalence augmente en vieillissant (Wilson et coll., 2011). D'autre part, la réserve cognitive semble jouer un rôle important dans le « bien vieillir ». La réserve cognitive est un concept qui réfère à l'écart entre les capacités cognitives observées chez un individu et celles qui seraient attendues en tenant compte des pertes neuronales de toutes origines (Stern, 2003, 2013). Au plan neurologique, une plus grande réserve cognitive serait associée à un réseau neuronal plus dense pouvant tolérer davantage de pertes neuronales avant de présenter une diminution de la performance. Elle serait aussi associée à une utilisation plus efficace du réseau neuronal atteint (c.-à-d., le réseau demeure efficace malgré des pertes neuronales) et une meilleure compensation par le recrutement d'autres réseaux que celui atteint pour résoudre un problème (Stern, 2003).

Alors, pourquoi certains individus ont une meilleure réserve cognitive que d'autres ? Plusieurs études suggèrent que la participation à des activités cognitivement stimulantes (ACS) favorise la formation d'une réserve cognitive qui servira, lorsque nécessaire, de protection contre les séquelles neurologiques. On observe que les personnes âgées qui sont plus scolarisées et qui s'engagent dans des ACS ainsi que dans des activités sociales vivent un déclin cognitif plus lent en âge avancé (Christensen et coll., 2007; Hultsch, Hertzog, Small et Dixon, 1999; Lovden, Ghisletta et Lindenberger, 2005; Newson et Kemps, 2005; Wilson et coll., 2013) et peuvent absorber davantage de séquelles neurologiques sans démontrer de déficits au niveau fonctionnel. Elles sont de même moins à risque de développer une démence (James, Wilson, Barnes et Bennett, 2011; Scarmeas, Levy, Tang, Manly et Stern, 2001; Wilson et coll., 2010; Wilson et coll., 2002). En effet, on estime qu'une personne cognitivement inactive a 2,6 fois plus de chances de développer une maladie d'Alzheimer (Wilson, Scherr, Schneider, Tang et Bennett, 2007).

Il est possible que la participation aux ACS profite plus à certains individus qu'à d'autres. Récemment, des études ont suggéré que la participation aux ACS aurait un effet plus prononcé chez les aînés que chez les jeunes adultes (Hultsch, Hammer et Small, 1993) et, à l'inverse, qu'une plus grande routinisation des activités quotidiennes est associée à une plus faible flexibilité cognitive, mais seulement chez les personnes âgées (Tournier, Mathey et Postal, 2012). Il serait possible que la participation aux ACS ait un effet compensatoire qui ne se manifeste pas chez les jeunes adultes, mais seulement chez les personnes âgées chez qui on observe un déclin cognitif. D'ailleurs, il a été mis de l'avant que la participation aux ACS pourrait avoir un effet compensatoire chez les individus ayant des facteurs de risque tels qu'une faible scolarité ou une santé fragile (Christensen et coll., 1996; Christensen et Mackinnon, 1993; Newson et Kemps, 2005). Par ailleurs, il n'y a pas encore de consensus quant à l'existence d'une période critique durant laquelle la

participation aux ACS aurait un impact plus significatif: certaines études ont examiné des effets positifs de la pratique d'ACS lors de l'enfance ou tout au long de la vie (Mackinnon, Christensen, Hofer, Korten et Jorm, 2006; Newson et Kemps, 2006; Wilson et coll., 2013), tandis que d'autres affirment que c'est la participation aux ACS après la retraite ou pendant les années les plus récentes qui est la plus cruciale (Bielak, Hughes, Small et Dixon, 2007; Calero-Garcia, Navarro-Gonzalez et Munoz-Manzano, 2007; Vaughan et coll., 2014; Wilson et coll., 2013).

Bien que la participation aux ACS semble associée à divers impacts positifs, l'étude de l'interaction entre le style de vie et le maintien cognitif malgré le vieillissement comporte toutefois plusieurs limites méthodologiques (Hertzog et coll., 2009). Il faut d'abord mentionner qu'il n'y pas de consensus clair dans la littérature sur la façon de mesurer la participation aux ACS ni sur le choix des activités considérées comme stimulantes ou non. Par exemple, certains questionnaires incluent « regarder la télévision » parmi leurs ACS (Crowe, Andel, Pedersen, Johansson et Gatz, 2003; Schinka et coll., 2005; Wilson et coll., 1999), alors que le temps passé à regarder la télévision a été associé à de plus faibles performances cognitives et un plus grand risque de développer des troubles cognitifs (Jopp et Hertzog, 2007; Wang et coll., 2006). De plus, la majorité du temps, le style de vie est autorapporté par le biais de questionnaires, ce qui constitue une mesure indirecte de la variable d'intérêt (Hertzog et coll., 2009). L'une des critiques les plus importantes demeure la difficulté à établir le sens du lien causal entre le style de vie et le déclin cognitif. En effet, il serait très plausible que les ACS ne protègent pas contre le déclin cognitif, mais plutôt que les individus conservant les meilleures habiletés cognitives recherchent davantage à réaliser des ACS (Stine-Morrow, Parisi, Morrow et Park, 2008). Dans ce sens, Small, Dixon, McArdle, et Grimm (2012) ont observé que le déclin cognitif entraîne une diminution graduelle de la participation à des ACS et des activités sociales bien avant qu'un déclin cognitif soit cliniquement diagnostiqué. De plus, il existe un fort risque

de négliger certaines covariables qui peuvent interagir avec le style de vie tel que la santé, le milieu socioéconomique, la forme physique, l'alimentation, etc.

Quoiqu'il en soit, le concept de réserve cognitive sous-tend qu'on puisse agir sur le profil de vieillissement cognitif puisque les individus qui sont régulièrement mis dans des situations exigeantes sur le plan cognitif semblent développer un plus grande réserve cognitive. Dans cette optique, on peut présumer que le fait de mettre à l'effort le fonctionnement cognitif d'un individu par le biais d'un entraînement cognitif ciblé pourrait développer la réserve cognitive et permettre de réduire le déclin cognitif lié au vieillissement. La présente thèse portera donc sur les impacts bénéfiques de l'entraînement cognitif chez les aînés.

1.6 Entraînement cognitif

Plusieurs études ont tenté d'identifier quelles interventions pourraient être implémentées dans le quotidien dans le but de ralentir ou de renverser les effets délétères de l'âge sur leur niveau fonctionnel (Walton, Mowszowski, Lewis et Naismith, 2014). L'avantage de l'étude par le biais d'interventions est que le chercheur contrôle l'introduction de l'intervention choisie dans le quotidien du participant et qu'il peut donc établir un lien de causalité avec les bénéfices potentiels observés suite à la complétion de l'intervention.

Il a été suggéré que l'entraînement pourrait être utilisé pour prévenir, réduire ou pallier le déclin cognitif lié à l'âge (Mowszowski, Batchelor et Naismith, 2010). L'entraînement cognitif se définit comme toute forme d'intervention dirigée qui vise l'amélioration d'une fonction cognitive telle que la mémoire, l'attention ou les fonctions exécutives. Cette méthode d'intervention est facile à utiliser dans un milieu clinique ou à la maison et engendre peu d'effets secondaires (Walton et coll., 2014).

Mais, malgré tout l'intérêt qu'on y porte, il n'existe pas encore de consensus sur l'amplitude des bénéfices découlant d'un entraînement cognitif chez les personnes âgées. Plusieurs méta-analyses ont suscité l'intérêt, mais ont aussi suscité un certain scepticisme vis-à-vis leur efficacité (Au et coll., 2015; Karbach et Verhaeghen, 2014; Melby-Lervag et Hulme, 2013).

Afin de mieux étudier la question de leur efficacité, nous aborderons tout d'abord les mécanismes de plasticité qui sous-tendent les bénéfices de l'entraînement cognitif. Nous décrirons ensuite les différents types d'entraînement cognitif utilisés dans la littérature et nous terminerons en examinant l'efficacité des entraînements cognitifs existants en fonction de différents critères pertinents aux travaux de cette thèse.

1.6.1 Les mécanismes de la plasticité

La plasticité neuronale et la plasticité cognitive sont deux phénomènes qui permettent une réorganisation de l'activation cérébrale suite à un entraînement cognitif. D'une part, la plasticité neuronale réfère à la capacité du cerveau de modifier certains réseaux neuronaux (neurogénèse, synaptogénèse, réorganisation corticale) afin de mieux s'adapter aux exigences de l'environnement (Greenwood et Parasuraman, 2010). D'autre part, la plasticité cognitive est un concept théorique qui s'appuie en partie sur la plasticité neuronale, mais qui fait davantage référence au potentiel latent qu'un individu peut atteindre dans des conditions et dans un contexte donnés (Jones et coll., 2006; Mercado, 2008; Willis et Schaie, 2009). La plasticité cognitive réfère donc plutôt à un changement dans les patrons de comportement (Greenwood et Parasuraman, 2010). Ces deux formes de plasticité peuvent expliquer qu'un entraînement cognitif puisse avoir un impact sur le fonctionnement cognitif des individus entraînés.

Plusieurs études ont observé des manifestations de plasticité neuronale chez des individus qui tentent de s'adapter à leur environnement suite à des pertes neuronales. Par exemple, on voit une réorganisation chez les personnes aveugles pour qui l'aire visuelle primaire du cortex est activée lors de la lecture de braille alors que ce n'est pas le cas chez les contrôles (Sadato et coll., 1996). De façon semblable, chez les patients atteints de dommages cérébraux suite à un accident cérébrovasculaire, on observe une réorganisation de l'activation neuronale, où des régions non touchées s'activent lors de tâches autrefois exécutées par les régions atteintes (Park et Reuter-Lorenz, 2009). Cette réorganisation peut se produire de façon automatique avec le passage du temps, mais peut être accélérée et favorisée par une intervention telle que la thérapie rééducative. Or, le fait qu'on observe une plasticité neuronale évidente dans de telles situations extrêmes ne garantit pas qu'un entraînement cognitif chez des personnes âgées en bonne santé puisse mener à une même plasticité. En effet, chez les patients qui sont victimes d'un accident cérébrovasculaire, une région du cerveau peut devenir atrophiée, ce qui force une réorganisation qui pourrait ne pas être observée dans une situation normale (Park et Bischof, 2013; Park et Reuter-Lorenz, 2009). Toutefois, des manifestations de plasticité neuronale ont été rapportées en l'absence d'atteintes neuronales. Par exemple, les doigts de la main gauche sont surreprésentés dans le cortex somatosensoriel primaire chez les violonistes (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh et Taub, 1995). L'ampleur de cette réorganisation corrélait particulièrement avec l'âge auquel les individus ont commencé à jouer, ce qui indique qu'une plus grande réorganisation est possible tôt dans le processus de maturation du cerveau. Plusieurs autres études rapportent avoir observé des changements fonctionnels et structurels suite à des entraînements moteur et/ou cognitif même chez les personnes âgées (Cramer et coll., 2011; Greenwood et Parasuraman, 2010; Patel, Spreng et Turner, 2013). Cette persistance de la plasticité neuronale avec l'âge suggère que les effets délétères du vieillissement pourraient potentiellement être limités ou même renversés par le biais de stimulation cognitive prolongée. Toutefois, contrairement aux fluctuations passagères, la plasticité

neuronale requiert une quantité substantielle de temps et d'effort afin d'altérer l'inertie inhérente au système biologique supportant la cognition (Noack, Lovden, Schmiedek et Lindenberger, 2009).

De ce fait, l'entraînement cognitif s'appuie également sur des mécanismes de plasticité cognitive pour expliquer les effets bénéfiques qu'on pourrait en tirer. Concrètement, un individu peut s'améliorer au cours d'un entraînement en appliquant une nouvelle stratégie, en focalisant sur différents éléments de la tâche ou en utilisant des ressources cognitives qui n'étaient pas recrutées avant l'entraînement (Greenwood et Parasuraman, 2010; Jones et coll., 2006; Mercado, 2008; Willis et Schaie, 2009). Ces changements comportementaux peuvent aussi engendrer une réorganisation de l'activation neuronale sans qu'il n'y ait nécessairement de changement structurel important sur le plan du réseau neuronal. On sait que le potentiel d'amélioration associé à la plasticité cognitive varie d'un individu à l'autre et pourrait également varier avec l'âge (Park et Reuter-Lorenz, 2009). En effet, certaines personnes peuvent avoir un plus grand potentiel latent et donc une plus grande capacité de changement. Cela dit, on doit tenir compte de la distance entre le potentiel latent d'un individu et sa performance lors d'une évaluation cognitive dans un contexte normatif. Autrement dit, si une personne use déjà de toutes les ressources latentes dont elle dispose pour atteindre une performance donnée, cette personne sera moins susceptible de s'améliorer davantage (Willis et Schaie, 2009).

1.6.1.1 Plasticité, attention divisée et imagerie

L'utilisation de la neuroimagerie est une approche essentielle qui permet d'objectiver concrètement la plasticité neuronale et la plasticité cognitive. Une question essentielle à laquelle les études d'imagerie contribuent à répondre est de savoir si une réorganisation de l'activation neuronale en situation de double-tâche suite à un

entraînement cognitif peut être observée. Suite à un entraînement en double-tâche chez de jeunes adultes, Erickson et coll. (2007a) ont observé une réduction de l'activation cérébrale dans la plupart des régions qui s'activaient fortement lors de l'accomplissement d'une double-tâche préalablement à l'entraînement. Notons toutefois qu'une augmentation de l'activation a également été observée dans l'aire dorsolatérale du cortex préfrontal, soit une région fortement associée aux fonctions exécutives. Dans les deux cas, les changements d'activation corrélaient avec l'amélioration observée suite à l'entraînement en double-tâche. Similairement, Dux et coll. (2009) ont révélé une augmentation de l'activation neuronale dans les régions frontales du cerveau chez de jeunes adultes après un entraînement en double-tâche. Les auteurs concluent que l'entraînement en double-tâche ne mène pas à une redirection de l'activation cérébrale vers des régions moins frontales du cerveau, mais mène plutôt à une plus grande efficacité du traitement de l'information dans les régions frontales. Erickson et coll. (2007b) ont également comparé l'activation cérébrale de jeunes adultes et personnes âgées de 55 à 80. Ils ont été témoins d'un changement de l'activation cérébrale chez des aînés et les jeunes adultes suite à un entraînement en double-tâche. Plus précisément, les auteurs rapportent une augmentation de l'activation cérébrale dans les régions préfrontales ventrales droites, mais une diminution à gauche chez les deux groupes d'âge. Aussi, une diminution de l'activation dans les régions préfrontales dorsolatérales était présente chez les aînés alors qu'une augmentation était observée dans cette même région chez les jeunes adultes. Il est important de préciser que les changements d'activation observés corrélaient avec l'amélioration de la performance en double-tâche suite à l'entraînement. Dans l'ensemble, les résultats indiquent qu'il y a des patrons de changement partiellement différents chez les jeunes et les aînés et qu'il y a une diminution de la différence d'activation entre les jeunes adultes et les aînés dans les régions préfrontales ventrales et dorsolatérales. Ces résultats suggèrent qu'une plasticité cérébrale demeure, malgré le vieillissement, et que l'entraînement de

l'attention divisée réduit les différences entre l'activation des jeunes adultes et celle des aînés.

1.6.2 Types d'entraînement cognitif

Tel qu'il a été vu précédemment, la plasticité neuronale et la plasticité cognitive pourraient sous-tendre les bénéfices observés suite à l'entraînement cognitif, et des études en imagerie cérébrale confirment que l'activation cérébrale peut changer suite à un entraînement cognitif même chez les personnes âgées. Toutefois, il existe divers protocoles d'entraînement cognitif et leur efficacité est très variable. Nous décrivons tout d'abord les trois types d'entraînement cognitif généralement rapportés dans la littérature, soit l'entraînement de stratégie, l'entraînement de processus et l'entraînement non spécifique (Lustig, Shah, Seidler et Reuter-Lorenz, 2009; Noack et coll., 2009). Ces trois types d'entraînement ainsi que les fonctions cognitives associées seront comparés à l'aide de quatre critères d'efficacité : l'amplitude de l'amélioration à la tâche entraînée, le maintien des bénéfices dans le temps, la diminution de l'écart de performance lié à l'âge et le transfert des bénéfices vers de nouvelles situations.

1.6.2.1 Entraînement de stratégies

L'entraînement de stratégies vise l'apprentissage de méthodes permettant de favoriser la performance à une tâche donnée. Généralement, cet apprentissage est enseigné de façon explicite par un formateur, au cours d'une quantité variable de séances. Durant ces séances, les individus étudient une ou plusieurs stratégies ciblées au moyen d'enseignement théorique, d'exemples, d'exercices pratiques (seuls ou en groupe) et d'exercices à faire à la maison. Il n'est toutefois pas rare que l'intervention inclut

également une portion de psychoéducation (p. ex. : comment fonctionne la mémoire et comment est-elle atteinte par le vieillissement), ainsi qu'une sensibilisation à certains aspects de la vie quotidienne (conseils sur l'anxiété, le sommeil, alimentation, etc.).

La vaste majorité des études portant sur l'entraînement de stratégies chez les personnes âgées visent à améliorer les capacités mnésiques. La plupart des stratégies mnémoniques existantes peuvent être regroupées en deux groupes: les techniques d'imagerie mentale, qui utilisent le double encodage en associant les items à des images mentales, et les stratégies d'organisation, qui visent l'optimisation de l'encodage et de la récupération (Rebok, Carlson et Langbaum, 2007; Van der Linden et Juillerat, 2003; Verhaeghen, Marcoen et Goossens, 1992). Quelques chercheurs ont également entraîné le raisonnement ainsi que les capacités de résolution de problèmes chez les personnes âgées par le biais d'un entraînement de stratégies (Boron, Turiano, Willis et Schaie, 2007; Denney, 1980; Payne et coll., 2012; Willis et Schaie, 1986). Néanmoins, la littérature sur l'entraînement de stratégies visant le raisonnement demeure très limitée.

1.6.2.2 Entraînement de processus

L'entraînement de processus réfère à un programme d'entraînement au cours duquel un individu doit accomplir une ou plusieurs tâches recrutant fortement une fonction cognitive spécifique (Lustig et coll., 2009). L'entraînement de processus ne repose pas sur l'apprentissage d'une stratégie, mais plutôt sur le perfectionnement de la performance par l'exercice prolongé d'une tâche plus ou moins complexe. L'éventail des fonctions cognitives ayant été visé par un entraînement de processus est large: vitesse de traitement (Ball, Beard, Roenker, Miller et Griggs, 1988; Edwards et coll., 2005), attention sélective (Fisk, Hertzog, Lee, Rogers et Anderson-Garlach, 1994; Ho

et Scialfa, 2002; Jenkins et Hoyer, 2000), attention soutenue (Parasuraman et Giambra, 1991), mémoire de travail (Dahlin, Neely, Larsson, Backman et Nyberg, 2008), inhibition (Davidson, Zacks et Williams, 2003), alternance (Kramer, Hahn et Gopher, 1999; Kray et Eppinger, 2006), préparation à répondre (Bherer et Belleville, 2004), attention divisée (Bherer et coll., 2005a, 2008; Kramer et coll., 1995a; Kramer, Larish, et coll., 1999). Même pour une fonction cognitive donnée, les protocoles d'entraînement peuvent varier énormément d'une étude à l'autre, mais ils visent généralement une augmentation de la précision des réponses et/ou une réduction du temps de réaction. Les entraînements sont fréquemment effectués sur un appareil électronique puisque celui-ci permet une rétroaction en temps réel de la performance et peut ajuster le niveau de difficulté en fonction de la performance des participants. Les entraînements électroniques peuvent donc être plus engageants, motivants et possiblement ludiques, ce qui favorise la mobilisation et la rétention des participants (Kueider, Parisi, Gross et Rebok, 2012).

1.6.2.3 Entraînement non spécifique

L'entraînement non spécifique réfère à l'utilisation d'activités stimulantes n'ayant pas été créées dans le but d'améliorer une fonction cognitive spécifique. L'étude de l'entraînement non spécifique regroupe deux principaux champs d'intervention. D'une part, on retrouve la pratique structurée d'activités cognitivement stimulantes tel que faire des casse-têtes et jouer à des jeux de société (Tranter et Koutstaal, 2008), participer à des cours d'arts (Noice, Noice et Staines, 2004) et réaliser des projets en petit groupe (Stine-Morrow et coll., 2008). D'autre part, plusieurs s'intéressent à la pratique extensive de jeux vidéos tels que les jeux de vitesse de traitement (Clark, Lanphear et Riddick, 1987; Dustman, Emmerson, Steinhaus, Shearer et Dustman, 1992; Goldstein et coll., 1997), les jeux de stratégies (Basak, Boot, Voss et Kramer, 2008) et les jeux de tirs à la première personne ou « *first-person shooter* » (Boot et

coll., 2010a; Donchin, 1989; Green et Bavelier, 2003, 2006). L'entraînement non spécifique a pour avantage d'être accessible, facilement distribuable sur de grandes populations et généralement plus ludique que les autres types d'entraînement. On observe un intérêt grandissant de l'industrie privée pour les jeux stimulant la cognition (*serious games*) et pour la combinaison de jeux stimulants et d'activités physiques (*exergames*) (Crookall, 2010; Maillot, Perrot et Hartley, 2012). Toutefois, les entraînements non spécifiques incluent souvent plusieurs formes de stimulation, ce qui ne permet pas d'isoler clairement les aspects de l'intervention qui la rendent efficace (Karbach et Verhaeghen, 2014). De plus, comme les entraînements non spécifiques sont très hétérogènes, un entraînement donné n'est que rarement étudié dans plus d'une étude, rendant les conclusions d'une étude difficilement généralisables. Ils ne seront donc pas examinés en détail dans le reste de la thèse. Comme cette thèse porte sur un examen des effets de transfert, nous avons opté pour une approche d'entraînement par processus afin de contrôler expérimentalement les paramètres de l'entraînement (stratégie, types d'essais, processus impliqués, etc.)

1.6.3 Critères d'efficacité

1.6.3.1 Amplitude de l'amélioration chez les aînés

L'un des critères d'efficacité les plus souvent rapportés est l'amplitude de l'amélioration à la tâche visée par l'entraînement. À cet effet, la grande majorité des études démontrent que, malgré le vieillissement, les personnes âgées peuvent s'améliorer de façon significative à des tâches recrutant respectivement un éventail varié de fonctions cognitives : vitesse de traitement (Ball et Owsley, 2000; Ball et coll., 1988), attention sélective (Fisk et coll., 1994; Ho et Scialfa, 2002; Jenkins et Hoyer, 2000), attention soutenue (Parasuraman et Giambra, 1991), mémoire de travail (Dahlin et coll., 2008), inhibition (Davidson et coll., 2003), alternance

(Kramer, Hahn, et coll., 1999; Kray et Eppinger, 2006), préparation à répondre (Bherer et Belleville, 2004), attention divisée (Bherer et coll., 2005a, 2008; Kramer, Hahn, et coll., 1999; Kramer et coll., 1995b), mémoire (Van der Linden et Juillerat, 2003; Verhaeghen et coll., 1992) et raisonnement (Saczynski, Willis et Schaie, 2002; Willis et Nesselroade, 1990; Willis et Schaie, 1986; Willis et coll., 2006). Plusieurs entraînements de stratégies et de processus ont entraîné des améliorations significatives aux tâches entraînées et, par conséquent, l'amplitude d'amélioration n'est donc pas un critère sélectif lorsqu'il est question de l'efficacité d'un entraînement cognitif. De plus, Schmidt et Bjork (1992) suggèrent qu'une plus grande amélioration à la tâche entraînée n'est pas nécessairement garante d'une plus grande amélioration aux autres critères d'efficacité d'un entraînement décrits ici-bas.

1.6.3.2 Maintien de l'amélioration

Le maintien des bénéfices de l'entraînement sur une longue période de temps est également un critère d'efficacité essentiel. En effet, il est possible que les améliorations observées après un entraînement s'estompent avec le temps et que les performances retournent à leur niveau de base (Hertzog et coll., 2009). Cependant, il a été observé que suite à un entraînement, les participants peuvent conserver une partie des bénéfices même après 2 mois (Kramer, Hahn, et coll., 1999; Kramer et coll., 1995b), 1-2 ans (Dahlin et coll., 2008; Schmiedek et coll., 2014), 3 ½ ans (Neely et Backman, 1993), et même 5 ans et plus (Willis et Schaie, 1986; Willis et coll., 2006). Dans l'ensemble, ces résultats sont encourageants quant aux effets à moyen et à long terme qu'un entraînement cognitif peut engendrer. Néanmoins, l'évaluation du maintien des apprentissages n'est pas systématique et entraîne plusieurs défis méthodologiques, dont une difficulté importante à retenir des participants sur de longues périodes de temps. De plus, peu d'études rapportent avoir

observé une absence de maintien à long terme, ce qui pourrait être attribuable au biais de publication.

Certains facteurs pouvant favoriser le maintien des améliorations ont été mis de l'avant, tel que la séance post-entraînement, aussi appelée la séance d'appoint ou « *booster session* » (Ford et Weissbein, 1997; Tziner, Haccoun et Kadish, 1991). Dans Willis et coll. (2006), après un entraînement de dix semaines, une partie des participants ont été exposés à quatre séances d'appoint, c'est-à-dire des séances d'entraînement supplémentaires, 11 mois et 35 mois plus tard. Ces séances d'appoint ont contribué à mieux préserver les gains suivant un entraînement de la vitesse psychomotrice, mais n'ont eu aucun impact sur les entraînements de mémoire et de raisonnement. Il est possible que l'entraînement de processus requière d'être pratiqué plus régulièrement pour que les bénéfices soient maintenus. Quant à l'entraînement de stratégies, Verhaeghen et Marcoen (1996) rapportent que l'extinction de l'utilisation d'une stratégie représente le plus grand risque de pertes des acquis et qu'une bonne intégration de la stratégie lors de la phase d'apprentissage peut favoriser le maintien de la stratégie (Dunlosky, Hertzog et Powell-Moman, 2005). L'impact des sessions d'appoint sur le maintien des bénéfices découlant d'un entraînement de stratégies devront être investigué.

1.6.3.3 Diminution de l'écart lié à l'âge

Un troisième critère serait de vérifier si l'entraînement permet de réduire l'écart de performance entre les jeunes et les aînés à la tâche entraînée. Il existe plusieurs façons d'objectiver ce phénomène de compensation. Considérant que les jeunes et les aînés n'offrent pas des performances équivalentes avant le début de l'entraînement, on cherche souvent à observer une amélioration supérieure chez les aînés entraînés que chez les jeunes. À cet égard, l'entraînement de stratégies semble offrir des résultats

modestes voire négatifs. En effet, l'entraînement de stratégies mène fréquemment à des bénéfices supérieurs chez les jeunes adultes (Baltes et Kliegl, 1992; Hoyer et Verhaeghen 2006; Lovden, Brehmer, Li et Lindenberger, 2012; Nyberg et coll., 2003; Verhaeghen et Marcoen, 1996) ou, au mieux, à des bénéfices équivalents pour les personnes jeunes et âgées (Peretti, Danion, Gierski et Grange, 2002; Yesavage et Rose, 1983). Une hypothèse pouvant expliquer ce phénomène est que l'application consciente de stratégies requiert l'implication des fonctions exécutives. Or, le déclin des fonctions exécutives lié à l'âge pourrait en partie expliquer pourquoi les aînés bénéficient moins l'entraînement par stratégies que les jeunes adultes (Jones et coll., 2006). D'ailleurs, Saczynski et coll. (2002) notent que les personnes âgées qui bénéficient le plus d'un entraînement de stratégies sont aussi celles qui sont plus scolarisées. Dans la même lignée, Verhaghen et Marcoen (1996) notent que les personnes âgées qui profitent moins de l'entraînement mnémorique omettent d'utiliser les techniques enseignées ou ne les appliquent pas correctement sans supervision.

On pourrait penser donc que l'entraînement de processus est plus efficace chez les aînés puisqu'il ne repose pas sur la mémorisation et l'utilisation appropriée d'une stratégie. Néanmoins, même suite à l'entraînement de processus, les gains chez les aînés sont généralement inférieurs ou équivalents à ceux des jeunes adultes (attention sélective (Fisk et coll., 1994; Ho et Scialfa, 2002), attention soutenue (Hsieh et coll., 2009), inhibition (Davidson et coll., 2003), mise à jour (Brehmer, Westerberg et Backman, 2012; Karbach et Verhaeghen, 2014; Zinke, Zeintl, Eschen, Herzog et Kliegel, 2012), préparation à répondre (Bherer et Belleville, 2004) et paradigme de PRP (Allen, Ruthruff, Elicker et Lien, 2009; Maquestiaux, Hartley et Bertsch, 2004; Maquestiaux, Lague-Beauvais, Ruthruff, Hartley et Bherer, 2010). Toutefois, une réduction de l'écart de performance entre les jeunes et les aînés a été observée suite à des entraînements de l'alternance (Cepeda, Kramer et Gonzalez de Sather, 2001;

Karbach et Kray, 2009; Kray, Eber et Karbach, 2008) et de l'attention divisée (Bherer et coll., 2005a, 2008; Kramer et coll., 1995b; Kramer, Larish, et coll., 1999). Comme mentionné précédemment, l'alternance et l'attention divisée sont des fonctions exécutives qui sous-tendent le contrôle cognitif et qui sont spécifiquement touchées par le vieillissement normal, même lorsqu'on contrôle pour le ralentissement général (Noack et coll., 2009). Ainsi, les entraînements cognitifs de l'alternance et de l'attention divisée semblent particulièrement pertinents puisqu'on observe une diminution des effets délétères de l'âge suite à l'entraînement, ce qui est rarement observé.

1.6.3.4 Transfert

Finale­ment, un dernier critère d'efficacité serait le transfert des bénéfices vers des contextes différents de celui de l'entraînement. Or, bien que plusieurs études indiquent que l'entraînement cognitif peut mener à une amplitude d'amélioration substantielle à la tâche entraînée et que ce gain peut être maintenu pendant plusieurs années, le transfert des bénéfices vers des tâches nouvelles ou non entraî­nées est souvent limité, voire non existant (Green et Bavelier, 2008b; Harrison et coll., 2013; Hertzog et coll., 2009; Lustig et coll., 2009; Melby-Lervag et Hulme, 2013; Noack et coll., 2009; Owen et coll., 2010; Redick et coll., 2013; Schmiedek, Lovden et Lindenberger, 2010; Thompson et coll., 2013; Willis et Schaie, 2009). En effet, les bénéfices découlant de l'entraînement semblent souvent spécifiques à la tâche entraînée et ne peuvent se généraliser à d'autres contextes, même si la tâche entraînée et les tâches de transfert sont très similaires (Green et Bavelier, 2008b).

Pourtant, la présence d'une forme de transfert des apprentissages est essentielle tant sur le plan clinique qu'expérimental. Sur le plan clinique, le transfert est nécessaire si on souhaite observer des impacts bénéfiques dans la vie quotidienne suite à un

entraînement de laboratoire (Hertzog et coll., 2009). Si un entraînement mène à une amélioration étendue d'une fonction cognitive, alors un effet de transfert, aussi modeste soit-il, pourrait avoir des impacts considérables sur l'ensemble des tâches de la vie quotidienne d'un individu (Schmiedek et coll., 2010). Sur le plan expérimental, Thorndike (1906) faisait la différence entre l'acquisition d'une compétence, qui est limitée à son contexte d'apprentissage, et l'amélioration d'une habileté, qui touche l'ensemble des situations pour lesquelles cette habileté est requise. La présence d'une généralisation des bénéfices d'un entraînement suggère qu'il y a eu un apprentissage plus important qu'une simple procéduralisation de l'association entre un stimulus et une réponse (Lindenberger, 2014). Noack et coll. (2009) mentionnent que la recherche sur l'identification des mécanismes et des limites de la plasticité du cerveau chez les personnes âgées doit examiner a) si on peut réactiver des habiletés antérieurement acquises, b) si on peut apprendre de nouvelles habiletés, c) si on peut suffisamment de plasticité cognitive pour améliorer une fonction cognitive par le biais d'un entraînement dirigé. Or, l'observation du transfert est essentielle pour déterminer qu'une fonction cognitive a été améliorée puisqu'une amélioration spécifique à la tâche entraînée pourrait être entièrement expliquée par une automatisation des réponses propres à l'entraînement. Par contre, on peut suggérer qu'une fonction cognitive est devenue plus efficace si, suite à une intervention, un individu améliore ses performances à diverses tâches recrutant la fonction cognitive visée (Schmiedek et coll., 2010).

Selon le modèle de Zelinski (2009), il existe deux dimensions au transfert qui sont particulièrement pertinentes dans le contexte de l'entraînement cognitif : le transfert modal, qui réfère au degré de similitudes entre les modalités de stimulus et de réponse, et le transfert fonctionnel, qui réfère au degré de similitudes entre les fonctions cognitives visées par l'entraînement et celles évaluées à la tâche de transfert. Pour chaque dimension, le transfert peut être qualifié de proximal ou de

distal, en fonction du degré de similarité entre la tâche entraînée et la tâche de transfert. Par exemple, le transfert modal serait proximal si on observe un transfert vers différents stimulus de la même modalité. Par contre, le transfert serait distal si on observe un transfert vers différentes modalités de stimulus (p.ex : visuel à auditif) ou vers un contexte très différent (p. ex. : conduite automobile). Théoriquement, la distance du transfert devrait être fortement corrélée avec la proportion de chevauchement entre les réseaux neuronaux activés durant l'entraînement et ceux activés durant la tâche de transfert (Buschkuehl, Jaeggi et Jonides, 2012; Dahlin et coll., 2008; Olesen, Westerberg et Klingberg, 2004). Selon cette hypothèse, il serait peu probable d'observer un transfert d'un entraînement de mémoire vers une tâche d'alternance attentionnelle. Dans le même sens, selon Noack, Lovden et Schmiedek (2014), le transfert attendu devrait être spécifique aux fonctions cognitives entraînées. On sait que des régions neuronales similaires sont activées dans les diverses tâches exécutives et que les fonctions exécutives partagent ensemble une variance latente, c'est-à-dire que plusieurs épreuves neuropsychologiques différentes mais visant à évaluer une même fonction partagent une variance commune (Miyake et Friedman, 2012). Il serait donc théoriquement possible d'observer un certain degré de transfert entre différents entraînements des fonctions exécutives (p. ex. : Bier et coll., 2014).

Dans l'ensemble, les entraînements de stratégies semblent entraîner des améliorations significatives qui perdurent, mais dont les bénéfices sont très spécifiques à la tâche entraînée (Noack et coll., 2009). Hormis quelques rares études où un transfert proximal est rapporté, la majorité des études n'observent pas de transfert suite à un entraînement mnésique (Dunlosky, Kubat-Silman et Hertzog, 2003; Lustig et coll., 2009; Mohs et coll., 1998; Oswald, Rupperecht, Gunzelmann et Tritt, 1996; Rebok et coll., 2007; Verhaeghen et coll., 1992; West, Welch et Yassuda, 2000). De plus, on note très peu de transfert vers des situations de la vie quotidienne, surtout chez les personnes âgées. Ceci pourrait potentiellement être expliqué par le fait que les

personnes âgées ont de la difficulté à utiliser au bon moment les nouvelles stratégies enseignées dans leur quotidien (Rebok et coll., 2007; Willis et Caskie, 2013). Dans le projet de recherche ACTIVE, des personnes âgées ont reçu un entraînement mnésique spécialement créé pour faire le lien entre les stratégies et leurs possibles utilisations dans le quotidien. Malgré cette attention particulière, aucun transfert n'a été observé vers les mesures d'efficacité aux tâches quotidiennes (Willis et coll., 2006).

Pour sa part, l'entraînement de processus offre des résultats très variables selon les fonctions cognitives entraînées. D'une part, les entraînements perceptivo-sensoriels et moteurs semblent extrêmement spécifiques et engendrent très peu de transfert (Ball et Sekuler, 1987; Fahle, 2004; Fiorentini et Berardi, 1981; Karni et Sagi, 1991; Maehara et Goryo, 2003; McKee et Westheimer, 1978; Ramachandran et Braddick, 1973; Saffell et Matthews, 2003). Par exemple, Karni et Sagi (1991) ont entraîné des participants à discriminer l'orientation d'objets texturés dans une certaine partie de leur champ visuel. Malgré une amélioration significative à la tâche entraînée, aucun transfert n'était observé si les cibles étaient déplacées dans l'hémichamp controlatéral. Par contre, les observations de transfert proximal et distal les plus probantes ont été rapportées suite à des entraînements des fonctions exécutives (mise à jour : (Brehmer et coll., 2012; Jaeggi, Buschkuhl, Jonides et Perrig, 2008; Karbach et Verhaeghen, 2014; Klingberg, Forssberg et Westerberg, 2002; Li et coll., 2008; Melby-Lervag et Hulme, 2013; Persson et Reuter-Lorenz, 2008; Westerberg et Klingberg, 2007) alternance : (Karbach et Kray, 2009; Karbach, Mang et Kray, 2010), attention divisée : (Bherer et coll., 2005a, 2008; Kramer et coll., 1995a; Kramer, Larish, et coll., 1999; Li et coll., 2010).

1.6.3.5 Transfert de l'entraînement de l'attention divisée au quotidien

L'entraînement de l'attention divisée apparaît donc comme une forme d'intervention des plus prometteuses puisque c'est l'un des rares entraînements qui profite davantage aux aînés qu'aux jeunes adultes et qui génère des effets de transfert proximaux et distaux. Toutefois, un dernier critère essentiel démontrant la pertinence de l'entraînement de l'attention divisée serait qu'il entraîne des bénéfices pouvant se transférer au quotidien des personnes âgées entraînées. Bien qu'il n'y ait pas encore de consensus en raison du manque d'études à double insu avec un placebo actif, plusieurs études rapportent des résultats allant dans ce sens.

Par exemple, concernant la conduite automobile, 48 participants ($m = 72$ ans) ont été entraînés à une tâche d'UFOV requérant de l'attention sélective et de l'attention divisée (Roenker, Cissell, Ball, Wadley et Edwards, 2003), ce qui a eu pour impact d'améliorer leur performance dans une tâche en simulation de conduite et de diminuer l'occurrence de comportements dangereux lors d'une conduite réelle. De plus, une partie des bénéfices était toujours observable 18 mois plus tard. Plus récemment, Ball, Ross, Roth Edwards et coll. (2013) ont rapporté que, avec seulement une séance d'appoint, les bénéfices pouvaient même se maintenir sur une période 5 ans. Toutefois, les effets de la participation à des séances d'appoint sur les bénéfices des entraînements de la mémoire et du raisonnement après 5 ans étaient négligeables (Rebok et coll., 2013). De façon similaire, Cassavaugh et Kramer (2009) ont entraîné 21 participants ($m = 71$ ans) en situation de double-tâche pendant huit séances d'environ 90 minutes. Les participants devaient accomplir une tâche d'attention sélective tirée de l'épreuve d'UFOV, tout en effectuant une tâche *n-back* et la priorité accordée à chaque tâche variait selon les consignes. L'étude démontre que l'amplitude d'amélioration à la double-tâche était prédictive de l'amélioration observée dans un simulateur de conduite. Des résultats similaires ont été observés en comparant 16 participants entraînés en double-tâche pendant 12 semaines à 16

participants sur une liste d'attente ($m = 68$ ans) : les participants entraînés se sont améliorés davantage sur certaines mesures corrélant avec une conduite efficace telle que l'épreuve d'UFOV (Marmeleira, Godinho et Fernandes, 2009).

Concernant la marche et le risque de chute, Silsupadol et coll. (2009) ont réparti aléatoirement des participants âgés (65 ans et plus) à travers trois types d'intervention d'une durée de 4 séances : entraînement en tâche simple, en double-tâche avec priorité fixe et en double tâche avec priorité variable. Les trois types d'intervention ont eu des effets positifs sur l'équilibre à la marche, mais seul l'entraînement en double-tâche à priorité variable a engendré des bénéfices à l'équilibre lors de la marche en situation de double-tâche (voir aussi (Pellecchia, 2005; Silsupadol, Lugade, et coll., 2009; Silsupadol, Shumway-Cook, et coll., 2009; Silsupadol, Siu, Shumway-Cook et Woollacott, 2006)). De plus, dans une étude randomisée avec groupe contrôle, il a été démontré que les bénéfices d'un entraînement en double-tâche menait à des bénéfices aux performances d'équilibre sur une jambe ainsi que sur le maintien du centre de gravité lors d'un exercice de balance dynamique sur deux jambes (Li et coll., 2010).

Finalement, peu d'études ont examiné l'impact de l'entraînement cognitif sur l'incontinence. Notons toutefois une étude intéressante pour laquelle 24 femmes âgées de 65 ans et plus et souffrant d'incontinence urinaire ont reçu un entraînement combinant des exercices du plancher pelvien à la pratique d'un jeu vidéo de danse sur tapis « *Danse Danse Revolution* » (Fraser et coll., 2014). Bien que cet entraînement soit non spécifique, la pratique de vidéo de danse sur tapis implique la coordination motrice combinée à la discrimination de stimulus à l'écran, ce qui représente une stimulation comparable à certains entraînements en double-tâche. Or, l'entraînement combiné a mené à une amélioration des performances à certains tests neuropsychologiques (inhibition/alternance au test de Stroop, alternance à l'épreuve

de traçage B et attention divisée en double-tâche). De plus, les femmes dont les symptômes de fuites ont diminué étaient aussi les seules s'étant significativement améliorées quant à leur précision en situation de double-tâche.

1.7 Présentation des questions de recherches générales : Étendue et limites du transfert et facteurs pouvant influencer le transfert

En somme, étant donné la grande proportion d'études n'ayant pas observé de transfert, le transfert apparaît comme l'un des critères d'efficacité de l'entraînement cognitif les plus sélectifs. Pourtant, la présence d'effet de transfert paraît essentielle et ce, tant d'un point de vue clinique que d'un point de vue théorique. Il semble que l'entraînement de processus, et plus précisément l'entraînement des fonctions exécutives, soit l'une des approches les plus prometteuses pour générer du transfert vers des tâches non entraînées. Plus spécifiquement, les entraînements de l'attention divisée auraient le potentiel de générer des impacts dans la vie quotidienne et ils suscitent l'intérêt général. Toutefois, la quantité d'études ayant observé du transfert demeure modeste et les protocoles sont très hétérogènes.

La présente thèse porte donc principalement sur le transfert des bénéfices d'un entraînement en double-tâche chez les personnes âgées. La première section de cette thèse investigate les limites du transfert modal. La seconde et la troisième sections explorent les facteurs liés au mode d'entraînement pouvant favoriser le transfert. La seconde section porte sur l'impact de l'entraînement à priorité variable sur les effets de transfert et la troisième section porte sur l'impact de l'entraînement hétérogène sur les effets de transfert.

1.7.1 Étendue du transfert modal

La première question de recherche concerne les limites du transfert suite à un entraînement en double-tâche. De façon cohérente avec la taxonomie de Barnett et Ceci (2002), reprise par Zelinski et coll. (2009), le transfert modal peut être qualifié de proximal ou de distal en fonction du degré de similarité entre les modalités de stimulus et de réponses utilisées lors de l'entraînement et celles utilisées dans les tâches de transfert. Généralement, on conclut que le transfert modal est *proximal* si la modalité utilisée est la même pour les stimulus utilisés (p. ex. : images de chiffres vs de lettres) ou pour les réponses (p. ex. : différents groupes de touches au clavier). Par contre, on peut conclure que le transfert modal est *distal* si les modalités utilisées sont différentes pour les stimulus (p. ex. : visuels vs auditifs) ou pour les réponses (p. ex. : manuelles vs verbales).

Selon, les observations de Hazeltine, Teague et Ivry (2002) et Ruthruff et coll. (2006), l'amélioration observée lors d'un entraînement en double tâche pourrait être liée aux caractéristiques spécifiques à l'entraînement. Selon cette hypothèse, on ne devrait pas observer de transfert modal distal puisque la modalité visée par la tâche de transfert n'a jamais été entraînée. Allant dans ce sens, alors que plusieurs études ont observé du transfert modal proximal, le transfert modal distal n'a reçu que peu de support empirique. Liepelt, Strobach, Frensch et Schubert (2011) ont entraîné des jeunes adultes à une double-tâche combinant une tâche visuomotrice de discrimination de position (gauche = index, milieu = majeur, droite = annulaire) et une tâche auditivoverbale de discrimination de son (aigu = « un », moyen = « deux », grave = « trois »). Les participants entraînés en double-tâche étaient comparés à un groupe de participants entraînés à exécuter les deux tâches en condition simples, soit une tâche à la fois. Lors d'une première expérimentation, les participants ont été évalués sur une tâche de transfert pour laquelle seule la tâche visuomotrice différait de l'entraînement (discrimination de grosseur de triangle : gros=index, moyen=

majeure, petit= annulaire). Lors d'une seconde expérimentation, seule la tâche auditivoverbale différait de l'entraînement (aigu = « deux », moyen = « un », grave = « trois »). Dans les deux cas, davantage de transfert a été observé chez les participants entraînés en condition de double-tâche que ceux entraînés en condition simple. Toutefois, dans une troisième expérimentation, la tâche visuomotrice et la tâche auditivoverbale variaient toutes les deux. Dans cette expérimentation, aucun effet de transfert n'était observé à la tâche de transfert (Strobach, Liepelt, Schubert et Kiesel, 2012). Les auteurs concluent que les apprentissages de l'entraînement sont spécifiques aux tâches entraînées et que les participants ne peuvent bénéficier de l'entraînement que si au moins une des deux tâches a été directement entraînée. Pourtant, Bherer et coll. (2005a) ont observé du transfert des apprentissages alors que les deux tâches de transfert différaient de celles entraînées. Ils ont entraîné des participants, jeunes et âgés, à exécuter une double tâche composée d'une tâche visuomotrice (identifier la lettre B ou C) et d'une tâche auditivomotrice (identifier un son aigu 990 Hz ou grave 440 Hz). Les participants ont été évalués à l'aide d'une tâche de transfert utilisant les mêmes modalités, soit une tâche visuomotrice (identifier le chiffre 3 ou 5) et une tâche auditivomotrice (son doux et son rude). En résultante, le coût situationnel et le coût de la coordination des participants jeunes et âgés ont significativement diminué suite à l'entraînement pour les deux tâches de transfert utilisées. Ces résultats supportent le transfert proximal puisque les deux tâches de transfert sont nouvelles, mais ils ne supportent pas le transfert distal puisque les modalités des deux nouvelles tâches demeurent identiques (visuomotrice et audiomotrice). Cependant, les auteurs ont également observé une amélioration des coûts situationnel et de la coordination à une seconde tâche de transfert, composée de deux tâches visuomotrices (identifier le chiffre 3 ou 5 et discriminer un carré hachuré d'un carré non hachuré). Bien que ces résultats soient encourageants, ils ne permettent pas de clairement supporter le transfert distal puisqu'au moins une des deux tâches entraînées était aussi visuomotrice. En effet, en continuité avec les résultats de Liepelt et coll. (2011), on pourrait supposer que le transfert modal distal

est possible, mais uniquement à condition qu'au moins une des modalités entraînées soit présentée dans les tâches de transfert. Or, dans Bherer et coll. (2008), des participants jeunes et âgés ont été entraînés à accomplir deux tâches visuomotrices (deux tâches visuomotrices [la lettre B ou C et la couleur verte ou jaune]). Trois double-tâches de transfert ont été effectuées avant et après l'entraînement. La première était une tâche de transfert proximal (deux tâches visuomotrices [le chiffre 3 ou 5 et un carré plein ou un carré hachuré]). Des effets de transfert ont été observés sur le coût situationnel et le coût de coordination à cette tâche. De plus, les effets de transfert semblaient globalement plus importants chez les aînés que chez les jeunes adultes, ce qui suggère un effet compensatoire de l'entraînement. Par ailleurs, les participants étaient également évalués sur deux tâches de transfert croisé où seulement l'une des tâches variait sur la modalité de stimulus (une tâche visuomotrice [la lettre B ou C] et une tâche audiomotrice [son aigu 990 Hz ou grave 440 Hz]; une tâche visuomotrice (le chiffre 3 ou 5) et d'une tâche audiomotrice [son doux et son rude]). Or, aux tâches de transfert croisé, les effets de transfert se sont avérés être spécifiques au coût situationnel puisque aucune amélioration significative n'a été observée sur le coût de la coordination. De plus, les aînés n'ont pas plus profité de l'entraînement que les jeunes adultes.

Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que le transfert modal distal est relativement faible et que les bénéfices de l'entraînement semblent se limiter aux modalités entraînées. Il est possible que les participants ayant été entraînés à faire simultanément deux tâches visuelles n'aient pas développé la capacité de partager leur attention efficacement entre deux tâches de modalités différentes. Au contraire, comme la modalité visuelle a été largement entraînée, il est possible que les participants aient eu de la difficulté à prioriser également les deux tâches. À notre connaissance, aucune étude n'avait observé les effets de transfert modal distal vers

une combinaison de deux tâches dont la modalité de stimulus différait de l'entraînement.

Une limite importante des études à ce jour est que le transfert vers des tâches utilisant différentes modalités de réponses a été très peu étudié. Une contribution importante de la présente thèse est d'investiguer le transfert modal vers différentes modalités de réponse. La plupart des protocoles utilisent des tâches visuomotrices, et parfois des tâches audiomotrices, auxquelles on répond à l'aide d'un clavier et quelques études utilisent des tâches audiomotrices. Dans l'ensemble, les modalités de réponses utilisées lors de l'entraînement diffèrent rarement de celles utilisées aux tâches de transfert. Pourtant, le transfert vers des modalités de réponses non entraînées est très pertinent puisque plusieurs études tentent d'améliorer certaines activités de la vie quotidienne, telles que la conduite ou la marche par le biais de tâche sur l'ordinateur. De plus, on sait qu'une partie du déficit lié à l'âge en attention divisée est attribuable à l'interférence causée par l'exécution de deux tâches qui requièrent la même modalité de réponse (Hartley, 2001; Hartley et Maquestiaux, 2007). Par conséquent, un effet sous-estimé de l'entraînement en double-tâche pourrait être de diminuer l'interférence entre les modalités de réponses, ce qui permettrait une meilleure coordination des deux tâches même lorsque les modalités de stimulus diffèrent. Dans ce sens, Voelcker-Rehage et Alberts (2007) ont entraîné des personnes âgées à exécuter une tâche motrice. Avant et après l'entraînement, les participants devaient réaliser la tâche motrice conjointement à une tâche cognitive. De façon surprenante, les sujets se sont améliorés, suite à l'entraînement, mais seulement à la tâche cognitive. Les auteurs ont conclu que la tâche motrice requérait moins de ressources mentales suite à l'entraînement, ce qui a mené à une relocalisation des ressources vers la tâche cognitive. Par conséquent, il est possible que la pratique prolongée à l'utilisation simultanée de quelques touches spécifiques du clavier soit responsable de l'amélioration observée aux tâches de transfert utilisant la même modalité de réponse.

Ainsi, il serait pertinent d'examiner le transfert dans une situation où les modalités de réponses varient afin de confirmer que les améliorations observées ne sont pas limitées à la coordination des modalités de réponses entraînées.

Considérant cela, dans le premier article intitulé «*An investigation of response and stimulus modality transfer effects after dual-task training in younger and older*», nous avons examiné de façon systématique le transfert modal distal suite à un entraînement de l'attention divisée chez les jeunes de 30 ans et moins et les aînés de 60 ans et plus. Aucune étude n'avait encore exploré de façon systématique le transfert distal tant pour la modalité des stimulus que pour la modalité réponses. Plus encore, aucune étude n'avait observé le transfert vers une tâche dont la modalité de stimulus et la modalité de réponses étaient différentes de celles de l'entraînement. Notre premier objectif était d'examiner l'étendue du transfert à travers les trois différentes tâches de transfert distal (différente modalité de stimulus, de réponses, et des deux). Le second objectif était de vérifier si les effets de transfert affectaient le coût situationnel et/ou le coût de la coordination pour chacune des tâches de transfert. Le troisième objectif était de déterminer si les effets de transfert variaient entre les jeunes adultes et les aînés. En regard à la littérature existante, nous avons émis l'hypothèse que les apprentissages acquis lors de l'entraînement en double-tâche seraient suffisamment flexibles pour qu'on observe des effets de transfert même lorsque les modalités de stimulus et de réponses différaient de ceux utilisés à l'entraînement. Par contre, nous avons posé l'hypothèse que le transfert pourrait être limité au coût situationnel puisque c'est ce qui avait été observé par Bherer et coll. (2008) alors qu'il avait utilisé une tâche de transfert modal distal (mais pour seulement une des deux tâches). Considérant les résultats de Bherer et coll. (Bherer et coll., 2005b, 2008), on pourrait s'attendre à observer un transfert comparable chez les jeunes et chez les aînés en regard au temps de réaction. Il serait toutefois possible que les aînés

pourraient profiter davantage de l'entraînement quant à la précision de leurs réponses.

1.7.2 Facteurs pouvant favoriser le transfert

Devant la multitude de protocoles d'entraînement disponibles, il apparaît hautement pertinent de mieux comprendre quels sont les facteurs qui favorisent l'amplitude des effets de transfert afin de créer des entraînements cognitifs plus efficaces. Les milieux de l'industrie et du travail dépensent des millions de dollars en formation continue chaque année bien qu'on estime que seulement 10% des apprentissages sont réellement transférés dans les situations de travail (Awoniyi, Griego et Morgan, 2002). Par conséquent, plusieurs champs de recherche tels que l'étude de la cognition, de l'éducation et de la didactique ont tenté de mieux comprendre ce qui favorise la généralisation des apprentissages. Green et Bavelier (2008b) ont identifié quatre déterminants pouvant optimiser le transfert : la difficulté de la tâche, la motivation, la rétroaction et la variabilité. Les trois premiers déterminants sont fortement associés entre eux. En effet, selon l'hypothèse de la zone proximale de développement de Vygotsky (1978), le niveau de motivation optimal est atteint lorsque la tâche est légèrement plus difficile que le niveau actuel de compétences du participant. Or, dans les entraînements de l'attention divisée utilisés (Bherer et coll., 2005b, 2008; Kramer, Hahn, et coll., 1999; Kramer et coll., 1995b), les participants reçoivent une rétroaction continue sur la vitesse et la rétroaction s'adapte en temps réel à la performance du participant, ce qui les incite constamment à performer au-delà de leur niveau actuel. Une étude a d'ailleurs démontré que les objectifs autofixés sans compensation financière menaient à des performances supérieures en double-tâche, comparativement à des récompenses financières basées sur la performance (Erez, Gopher et Arzi, 1990). La présente thèse focalisera particulièrement sur le quatrième

déterminant du transfert selon Green et Bavelier (2008b), soit la variabilité dans le contexte d'apprentissage.

Dans une large proportion d'études, l'entraînement cognitif repose sur la pratique prolongée d'une seule et même tâche informatisée de façon très répétitive « *drill-like training* » (Walton et coll., 2014). Pourtant, plusieurs auteurs suggèrent que le fait de varier le contexte de l'entraînement pourrait favoriser l'apprentissage et, possiblement le transfert. Guesgens et al (2007) recommande que la relation entre le contexte de l'entraînement et la compétence visée soit brisée fréquemment afin de permettre un apprentissage indépendant du contexte et, donc, plus flexible. Les individus auraient naturellement tendance à focaliser leur attention sur les traits de surface de la tâche et à négliger les traits de structure, ce qui expliquerait les taux faibles de réussite du transfert vers des situations nouvelles (Detterman et Sternberg, 1993; Veillard et Coppé, 2009). Ainsi, le fait de varier les contextes d'apprentissage encouragerait les participants à extraire un apprentissage plus global de leur expérience, ce qui favoriserait le transfert (Baldwin, 1992; Schmidt et Bjork, 1992). En plus, cette hypothèse est conforme avec la problématique de l'impureté des tâches évaluant les fonctions exécutives (Miyake et coll., 2000). En effet, on croit qu'il est impossible de recruter directement les fonctions exécutives puisque celles-ci se manifestent en contrôlant d'autres processus cognitifs. Par conséquent, l'entraînement à travers de multiples contextes pourrait favoriser le développement des fonctions exécutives visées, plutôt que les habiletés spécifiques aux contextes de l'entraînement. Toutefois, Green et Bavelier (2008b) mentionnent le fait d'augmenter la variabilité lors de l'entraînement pourrait entraîner, comme effet négatif, une phase d'acquisition plus longue.

Une forme de variabilité de l'entraînement ayant été étudiée dans le cadre de l'entraînement en double-tâche, est l'entraînement à priorité variable. Dans ce type de

protocole, les participants doivent varier l'attention qu'ils attribuent à chacune des deux tâches. En fonction de consignes qui varient au cours de la séance d'entraînement, les participants doivent soit donner une priorité équivalente aux deux tâches, soit prioriser la tâche indiquée par la consigne. Par opposition, lors d'un entraînement à priorité fixe, les participants doivent toujours donner une priorité équivalente aux deux tâches. De façon intéressante, l'entraînement à priorité variable ajoute un aspect de variabilité au contexte de l'entraînement, sans toutefois altérer l'apparence ou la nature de la tâche. Autrement dit, seules les consignes varient. De plus, certains auteurs suggèrent que l'entraînement à priorité variable encourage les participants à focaliser sur la relation entre les différentes tâches et à constamment redistribuer leurs ressources attentionnelles entre les deux tâches, soit deux compétences centrales au contrôle attentionnel (Cassavaugh et Kramer, 2009; Gopher, 2007). De plus, l'entraînement à priorité variable mènerait les participants à approcher la tâche de différents angles, ce qui pourrait générer des apprentissages plus flexibles (Schmidt et Bjork, 1992). De fait, plusieurs études rapportent que l'entraînement à priorité variable mène à une plus grande amplitude d'amélioration et, parfois, à une plus grande vitesse d'apprentissage que l'entraînement à priorité fixe (Bier et coll., 2014; Boot et coll., 2010b; Kramer et coll., 1995b; Kramer, Larish, et coll., 1999; Silsupadol, Lugade, et coll., 2009), alors que d'autres n'ont pas observé de différences entre les deux types d'entraînement (Bherer et coll., 2005b, 2008). Quoiqu'il en soit, l'impact de l'entraînement à priorité variable sur les effets de transfert demeure incertain.

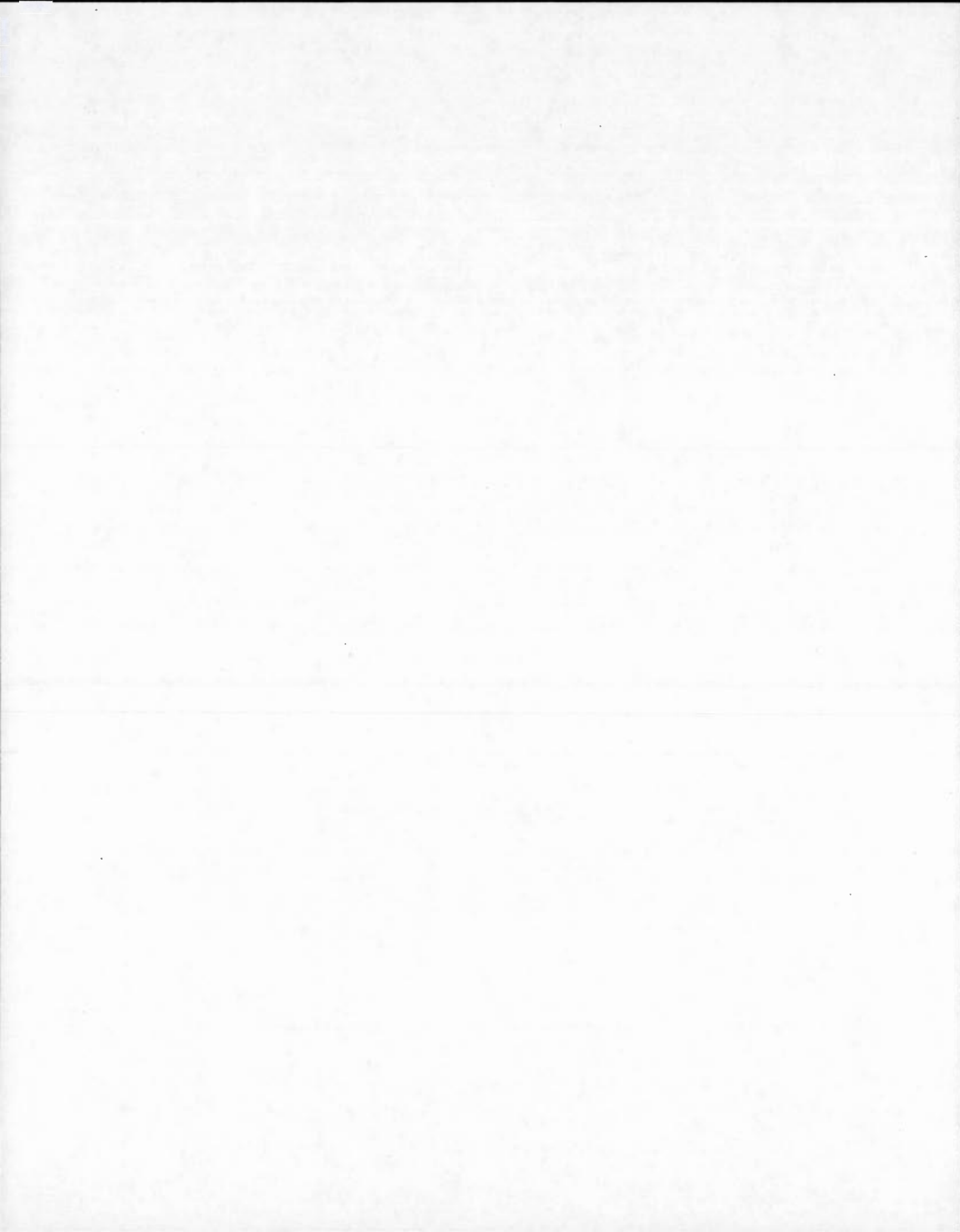
Ainsi, dans le deuxième article intitulé « *Specific transfer effects following variable priority dual-task training in older adults* », trois types d'entraînement ont été comparés : l'entraînement à priorité variable, l'entraînement à priorité fixe et un placebo actif. Avant et après l'entraînement, les participants, âgés de 55 à 65 ans, ont été évalués sur deux tâches de transfert, soit une tâche de transfert modal proximal et

une tâche de transfert modal distal. De façon cohérente avec les études précédentes, il a été mis de l'avant que l'entraînement à priorité variable génèrerait davantage d'effets de transfert. Il a aussi été suggéré que l'entraînement à priorité variable améliorerait spécifiquement le coût de la coordination puisque ce type d'entraînement favorise particulièrement le développement de compétences centrales au contrôle attentionnel (Cassavaugh et Kramer, 2009).

Un troisième article de cette thèse intitulé « *Benefits of heterogeneous dual-task training on transfer effects in older adults* » a également exploré l'impact d'une forme de variabilité au cours de l'entraînement sur le transfert. Dans cette étude, trois types d'entraînement différents ont été comparés: l'entraînement hétérogène, l'entraînement homogène et un placebo actif. Dans le cadre de l'entraînement hétérogène, les participants étaient appelés à s'entraîner avec trois différentes combinaisons de double-tâche pendant quatre séances chacune, pour un total de douze séances. Chaque combinaison impliquait deux différentes tâches visuomotrices. Une seule combinaison de double-tâche visuomotrice était entraînée dans le cadre de l'entraînement homogène. De façon similaire à la deuxième étude, avant et après l'entraînement, des participants, âgés de 60 ans et plus, ont été évalués sur une tâche de transfert modal proximal et une tâche de transfert modal distal. L'hypothèse émise était que l'entraînement hétérogène favoriserait le transfert modal puisque la variation des stimulus utilisés rendrait les apprentissages plus indépendants de la nature des stimulus. De plus, l'amélioration au cours de l'entraînement a été examinée si l'entraînement hétérogène génèrerait des courbes d'apprentissage plus pentues que l'entraînement homogène, tel qu'observé pour l'entraînement en priorité variable.

En résumé, la présente thèse comporte trois articles visant à mieux connaître les facteurs favorisant le transfert après un entraînement en situation de double-tâche.

Dans les chapitres qui suivent, chacun des articles scientifiques originaux est présenté.



CHAPITRE II
ARTICLE 1 - *AN INVESTIGATION OF RESPONSE AND STIMULUS MODALITY
TRANSFER EFFECTS AFTER DUAL-TASK TRAINING IN YOUNGER AND
OLDER ADULTS*

Lussier, M., Gagnon, L., Bherer, L.(2012). An investigation of response and stimulus modality transfer effects after dual-task training in younger and older adults.

Frontiers In Human Neuroscience, 6: 129.

Running head : MODALITY TRANSFER AFTER DUAL-TASK TRAINING

An investigation of response and stimulus modality transfer effects after dual-task training in younger and older

Maxime Lussier

Christine Gagnon

Louis Bherer

Department of Psychology, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, Canada

Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, Université de Montréal, Montréal, QC, Canada

2.1 Abstract

It has been shown that dual-task training leads to significant improvement in dual-task performance in younger and older adults. However, the extent to which training benefits to untrained tasks requires further investigation. The present study assessed (a) whether dual-task training leads to cross-modality transfer in untrained tasks using new stimuli and/or motor responses modalities, (b) whether transfer effects are related to improved ability to prepare and maintain multiple task-set and/or enhanced response coordination, (c) whether there are age-related differences in transfer effects. Twenty-three younger and 23 older adults were randomly assigned to dual-task training or control conditions. All participants were assessed before and after training on three dual-task transfer conditions; (1) stimulus modality transfer (2) response modality transfer (3) stimulus and response modalities transfer task. Training group showed larger improvement than the control group in the three transfer dual-task conditions, which suggests that training leads to more than specific learning of stimuli/response associations. Attentional costs analyses showed that training led to improved dual-task cost, only in conditions that involved new stimuli or response modalities, but not both. Moreover, training did not lead to a reduced task-set cost in the transfer conditions, which suggests some limitations in transfer effects that can be expected. Overall, the present study supports the notion that cognitive plasticity for attentional control is preserved in late adulthood.

2.2 Introduction

Conversing on a cell phone while crossing the street, tuning radio channels while driving, and cooking while watching a TV program are a few activities of daily living that require dividing attention between two or more concurrent tasks at the same time. It has often been reported that aging is associated with a decline in divided attention abilities and dual-task performances (Verhaeghen and Cerella, 2002). Age-related deficits in executive control mechanisms that support dual-task abilities are a major research concern. Indeed, dual-task performances appear to be a good predictor of several negative outcomes in late life, such as falls (Verghese et al., 2002), bumping while walking (Broman et al., 2004), and car crashes (Chaparro et al., 2005; Clay et al., 2005; Kramer and Madden, 2008). Improving the ability to perform two tasks simultaneously could therefore have significant impacts in the prevention of adverse outcomes associated with aging.

It has been suggested that age-related deficits in dual-task performance can be attributed to non-executive processes such as general slowing, higher stimuli interference, and less risky strategies (Glass et al., 2000; Hein and Schubert, 2004), but a metaanalytic research that controlled for some of these confounding factors still found robust age-related deficits in dual-task performances (Verhaeghen et al., 2003). Indeed, older adults are slower and less accurate than younger adults when performing two tasks simultaneously and the age-related deficit cannot be accounted for by mere general slowing (McDowd and Shaw, 2000; Verhaeghen and Cerella, 2002; Verhaeghen et al., 2003). The age-related deficit in attention control processes that support dual-task performance have often been associated with the vulnerability of the prefrontal cortex during aging, which globally compromises executive control (Cabeza, 2001; Cabeza et al., 2004; Davis et al., 2008). Interestingly, a recent meta-analysis showed that age-related decline in executive control is not general, but seems to be specific to divided attention (Verhaeghen, 2011).

Recent studies have shown that cognitive training can help improve performances in attentional control tasks. This has been shown in switching tasks (Kray and Lindenberger, 2000; Cepeda et al., 2001; Kray and Eppinger, 2006; Kray et al., 2008; Karbach and Kray, 2009), inhibition tasks (Davidson et al., 2003; Thorell et al., 2008), and updating tasks (Dahlin et al., 2008b; Jaeggi et al., 2008). Several training studies have also demonstrated robust increase in dual-task performance after cognitive training. It has also been suggested that dual-task performance relies on at least two specific abilities: (1) the preparation and maintenance of multiple task sets, as indexed by the task-set cost and (2) the coordination of stimulus perception and simultaneous motor response executions, as indexed by dual-task cost. While training did not allow equivalent optimization in dual-task performances in older and younger adults in some studies, even after extensive training (Strobach et al., 2012), others showed equivalent improvement in task-set and dual-task costs in both older and younger adults (Kramer et al., 1995; Elke et al., 1999; Schumacher et al., 2001; Bherer et al., 2005, 2006, 2008).

Although these studies suggest that cognitive training leads to enhanced attentional control in older adults, few studies have reported convincing evidence of transfer effect after training (Dahlin et al., 2008b; Green and Bavelier, 2008; Owen et al., 2010). Transfer effects refer to the generalization of learning from the training task to an untrained task, often referred to as a transfer task. To date, little is known about the extent and limits of transfer effects after cognitive training. Among studies that used dual-task training with older adults, some studies have reported significant transfer effects (Kramer et al., 1995; Bherer et al., 2005, 2008) but others have not (Dahlin et al., 2008a; Green and Bavelier, 2008; Owen et al., 2010). Moreover, in studies that reported significant transfer effects, it remains unclear whether enhanced performance in untrained tasks were supported by an improved ability to maintain several response alternatives (reduced task-set cost) or by a better response coordination ability

(reduced dualtask cost). Moreover, in some studies, transfer effects seemed larger if the untrained tasks shared strong similarity with the training task with regards to input modality (e.g., both tasks involved visual input) and motor response modality (e.g., both tasks required motor responses). The present study was conducted to assess the extent to which cross-modality transfer effects can be expected after dual-task training in older and younger adults.

According to Barnett and Ceci's (2002) taxonomy (see also Zelinski, 2009), modality transfer refers to improvement observed in a new task that involves different stimuli, or input modality, than the one that has been trained (e.g., training with a visual task leads to improvement in an auditory task). Furthermore, modality transfer can be qualified as near or far depending on the distance between the modalities of the trained task and the transfer task. Near modality transfer refers to improvement on novel tasks that involve new stimuli but share the same stimulus and response modalities with the training task. The notion of near modality transfer is very close to the one of within-modality transfer used in some studies (Bherer et al., 2005). For the transfer to be qualified as far modality transfer, training-related improvement must be observed on tasks that involve different stimulus modalities (visual to auditory) and/or response modalities (manual tapping to foot tapping) than those used in training. The notion of far modality transfer is very close to the one of cross-modality transfer used in other studies (Bherer et al., 2005). Far modality transfer appears as an essential outcome for a cognitive training program to produce significant changes in activity of daily living. For example, if transfer is specific to the trained modality, one should not aim at improving driving performance or at improving balance while talking by training on computerized software that do not involve the same input or output modalities. Moreover, knowing the extent and limits of transfer would help creating new platform, or choosing among existing ones, when it comes to use video games devices (e.g., Wii's Wii Fit™, PlayStation's Eye™, Xbox's Voice

Recognition™, etc.) in the context of cognitive rehabilitation with clinical populations.

Transfer effects reported so far in dual-task training studies appear limited to near modality transfer, or within-modality transfer. In a recent study in older adults, half of the trained participants practiced a visual number summing task while trying to detect peripheral visual targets (flowers), while the other half practiced a visual letter-position subtraction task while also trying to detect peripheral targets (soccer balls). Both groups showed significant improvement in untrained version of the tasks after training as opposed to control groups (Mackay-Brandt, 2011). Similarly, increased ability to maintain and prepare multiple tasks (reduced task-set cost) and enhanced coordination of the two tasks (reduced dual-task cost) were observed on transfer dual-task conditions after training (Bherer et al., 2005, 2008). These results suggest that to some extent, near modality transfer effects (or within-modality transfer effects) can be expected after dual-task training. Interestingly, younger and older adults did improve to the same extent in the transfer tasks. However, far modality transfer or cross-modality transfer, after dual-task training only received partial support so far. Bherer et al. (2005) observed that training to perform simultaneously a visual and an auditory discrimination tasks can lead to enhanced performances in an untrained dual-task condition that involved two visual tasks, although improvement in task-set cost was not significant. In a more recent study (Bherer et al., 2008), older adults trained to perform two visual tasks did show improved task-set cost, but not dual-task cost, in crossmodality transfer tasks that involved performing a visual and an auditory transfer task concurrently. Although global performances in the transfer dual-task conditions suggest that training led to a generalizable improvement in the ability to perform concurrent tasks, these results suggest that there are some limits in the amount of cross-modality (far modality) transfer effects that can be expected after dual-task training. Hence, learning to coordinate two visual tasks might generalize to

untrained visual tasks, but the amount of transfer would be reduced if at least one of the untrained tasks involved the auditory modality. According to this hypothesis, a transfer dual-task condition that involved two tasks in which the modality differs from the training task should show even less transfer effects, or none at all. In a recent set of studies (Liepelt et al., 2011; Strobach et al., 2012), young students practiced a visual task (discriminating circle locations by pressing keys on the keyboard) and an auditory task (discriminating low, middle, or high tones by answering “one,” “two,” or “three”) simultaneously. A decreased of dual-task cost was observed in transfer conditions where either the visual or the auditory task was changed from practice. However, no decreased of dual-task cost was observed in transfer condition where both tasks changed from the practiced tasks. Authors concluded that task coordination skills are non-transferable and task-specific. However, it is important to note that, a decreased of error rates was observed on the auditory transfer task which indicated some level of transfer. Moreover, for the auditory task transfer condition, tones were the same but the mapping changed to “two,” “one,” or “three.” This likely limits the transfer effects that could be expected since participants had to inhibit the mapping learned during training. Further studies are thus required to clarify whether transfer effects can be observed after dual-task training when the transfer dual-task condition involves two new and untrained concurrent tasks.

While stimulus modality transfer effects have received some support, the extent to which cross-modality transfer effects can be expected when the response modality differs from the training to the transfer tasks has not been systematically investigated. In Voelcker-Rehage and Alberts' (2007) study, older adults were trained on a motor control task, which was paired with an untrained cognitive task before and after training. Surprisingly, participants improved on the cognitive task but did not improve on the motor task. The authors suggested that motor supervision was highly

demanding before training and that there were fewer resources available for the cognitive task. So far, studies that reported transfer effects after dual-task training in older and younger adults have used the same motor response modality (keyboard input) in training than in transfer tasks. There is thus no evidence of either near or far modality transfer involving a new set of response modalities. Transfer effects to new motor responses appear particularly relevant in the context of dual-task training in older adults. Indeed, Hartley (2001) showed that age-related deficits in dual-task performances were most likely to occur if the task combination involves two motor responses. The present study assessed whether dual-task training leads to some benefits in a new dual-task combination that involved new motor response modes and if transfer effects are equivalent amount older and younger adults.

The main objective of the present study was to explore further the limits of transfer effects that can be expected after dual-task training. For the first time, cross-modality transfer effects were systematically assessed by using three dual-task conditions; a dualtask condition in which the stimuli modality differed in both tasks from the tasks used in training, a dual-task condition in which the response modality differed from the training tasks in both untrained tasks, and a third transfer condition in which both the stimuli and the output modality were new in both tasks. In all three transfer-task conditions the amount of change in task-set and dual-task costs was also measured in order to assess whether transfer effect were supported by increased preparation for multiple tasks or enhanced ability to coordinate the two concurrent tasks. Another goal of the present study was to assess whether age-related differences exist in the amount of cross-response and cross-stimulus modality transfer effects.

2.3 Method

2.3.1 Participants

Twenty-three older adults and 23 younger adults participated in the study. All participants were healthy community-dwellers who provided informed consent to participate in the study. The older adults group was composed of 18 women and 5 men (age: $M = 68.5 \pm 7.1$ years; education: 14.4 ± 3.4 years). The younger adults group was composed of 13 women and 10 men (age: $M = 23.7 \pm 3.0$ years; education: 15.3 ± 1.7 years). Participants were excluded if they had depressive disorder, neurological disorders, uncorrected or impaired vision or audition and a history of stroke or general anesthesia in the past 6 months. On the first session, older participants completed the Mini-Mental State Examination (Folstein et al., 1975). Participants having a score below 26/30 were excluded. Participants were then randomly assigned to training or control group. Participants were blinded to the existence of different groups. The training group was composed of 13 younger and 13 older adults while the control group was composed of 10 older and 10 younger adults.

Prior to assessment of dual-task performances, both experimental and control groups were compared through an assessment of several neuropsychological tests: verbal abstraction (Similarity test; Wechsler, 1997), verbal fluency (P-T-L phonetic fluency), mental reasoning (matrix; Wechsler, 1997), processing speed (Digit Symbol Substitution; Wechsler, 1997), short-term and working memory (Digit span forward and backward; Wechsler, 1997), and attention and executive functions (Stroop Color Test and Trail Making Test A and B (Reitan, 1958; Bohnen et al., 2002; Chatelois et al., unpublished data). For a detailed description of each test, see Lezak et al. (2004). ANOVAs performed on neuropsychological tests performances as dependent variables and training group as between group factor (training vs. control) indicated

that in both younger and older adults, there was no significant difference between training and control groups (see Table 2.1).

2.3.2 The Dual-Task Paradigm

The dual-task paradigm runs on E-prime 2.0 from Psychology Software tools. Participants started each trial by pressing the space bar or by pressing a button on the wheel depending on the response modality. Then, a fixation point (an asterisk) appeared in the middle of the screen for 500 ms followed by stimuli presentation, which lasted until participants provided a response. Participants controlled the length of the inter-stimulus interval by triggering the next trial, but a minimum inter-stimuli interval of 750 ms was set. Participants were asked to respond as quickly and accurately as possible. A visual warning appeared when participants committed errors (“wrong answer” in red).

Each dual-task condition involved pure and mixed blocks. In pure blocks, participants performed only one of the two tasks at a time (single-pure trials). In mixed blocks, participants either performed the two tasks concurrently (dual-mixed trials) or just one of the two tasks (single-mixed trials). Therefore, single-mixed trials differed from dual-mixed trials simply in the presentation of one or two stimuli, with no further indication given to the participants. The order of the single and dual-mixed trials within the mixed blocks was unpredictable. Participants were instructed to give equal priority to both tasks.

Comparisons between the different trial types provide valuable information with regard to the potential mechanisms involved in dual-task performances. Performances on single-pure trials can be viewed as an indicator of general processing speed, while comparison between single-pure and single-mixed trials (referred to as task-set cost)

provides a measure of processing required to prepare and maintain multiple task sets. Difference between performances in single-mixed and dual-mixed trials can be viewed as a measure of the ability to perceive multiple stimuli and coordinate the execution of two motor responses. This measure is referred to as the dual-task cost. While a decrease of the task-set cost is interpreted as an improvement of the ability to prepare and maintain in working memory multiple stimulus–response alternatives, a decrease of the dual-task cost can be considered as an indicator of improved task coordination abilities require in executing multiple tasks.

2.3.2.1 Stimuli and motor responses

The training dual-task condition involved two visual identification tasks. Stimuli appeared in the middle of a 19 × flat screen, on a black background. Viewing distance was approximately 45 cm. At this distance, visual stimuli subtended a vertical visual angle of 1.15° and a horizontal visual angle of 0.76°. One task required identifying the direction of a white arrow (left or right) by pressing “A” or “S” on the keyboard with the index or the middle finger of the left hand. The other task was to identify the color of a square (red or green) by pressing “K” or “L” keys with their right hand index or middle finger.

Three transfer dual-tasks conditions were designed for this study. The stimulus modality transfer (S-MT) dual-task combination involved two auditory discrimination tasks: to judge if a pure sound (990 Hz) was coming from the left or right headphone speakers and to discriminate the words “GO” or “STOP” presented in stereo in the headphone. Participants could adjust sound volume as needed and responses were provided using the same keys as in the training dual-task condition. In the response modality transfer (R-MT) condition, the participant had to turn the wheel in the direction of the arrow and had to press the accelerator or the brake depending on the

color of the square, red or green. Stimuli were identical to the ones used in training dual-task condition. Finally, the stimuli-response modality transfer (SR-MT) condition used the same stimuli than the S-MT and the same responses than the R-MT.

2.3.2.2 Pre and post-training procedures

In the preand post-training sessions, participants completed four dual-task combinations; the training task as well as the three transfer dual-task combinations. Each dual-task combination lasted around 20 min during which participants started with two pure blocks (20 single-pure trials), followed by two mixed blocks (40 single-mixed and 40 dual-mixed trials), and two pure blocks (20 single-pure trials). No feedback on speed was provided. Table 2.2 resumes the blocks structure of pre and post-training evaluations.

2.3.2.3 Training procedure

Less than 1 week separated training from the preor post-training sessions. The training regimen was composed of five training sessions of approximately 1 h each. Participants were asked to attend to two or three sessions a week but they had to wait a minimum of 1 day between each session. Training was performed in a computer room allowing 10 participants to train simultaneously. Participants from the control group did not receive the training but had to wait an equal lapse of time before being invited on the post-training evaluation.

The dual-task training condition differed from preand postdual-task training conditions on several aspects. First, in each training session, participants completed

two pure blocks (20 trials each) followed by eight mixed blocks (80 trials each), and two other pure blocks (20 trials each). Participants completed five training sessions, for a total of 400 single-pure trials ($5 \times 4 \times 20$),

Second, during training sessions a continuous, individualized adapted feedback was displayed on the computer screen. Feedback indicators were presented continuously on a histogram in the top-left portion of the screen and depicted speed performance for the dual-mixed trials. The histogram contained two bars, each one giving feedback for a specific hand. The heights indicated participants' performances (speed) in dual-mixed trials. The bars first appeared as small and red. As performances progressively got faster, the graph bars grew taller and simultaneously changed to yellow or green. The bars automatically became red when an error was made. Performances were estimated through a comparison between dual-mixed trials and single-mixed trials. The criterion for optimal performance was reached when the mean RT for the last three dual-mixed trials was smaller or equal to the median of the RT distribution for all previous single-mixed trials in a given training session.

2.3.3 Analysis

ANOVAs were performed on RT (ms) and accuracy (% of correct responses) with Age (older vs. younger) and Group (trained vs. control) as between-subjects factors, and Session and Trial type (single-pure – single-mixed – dual-mixed) as within-subject factors. Significant interactions were decomposed with simple effects. However, in the case of a significant interaction with more than two levels of a repeated factor (e.g., Trial types), repeated contrasts were used. Such analyses provide a comparison of RT differences between two consecutive levels of a repeated factor. Statistical analyses of the data were performed on SPSS 17. An effect was reported significant according to the adjusted alpha level (Greenhouse–Geisser) when

required – that is, when the Mauchly's test of sphericity was significant. Effect sizes (eta squared) are also reported. In the event of a significant effect of Age, age-related slowing was controlled for by conducting analyses of covariance (ANCOVAs) with baseline RT in the single-pure trials averaged for the two tasks of a given condition. Performances of the training group through the five training sessions will be described first. Then, performance of training and control groups will be compared from pre-test to post-test in the training dual-task condition and the three transfer dual-task conditions.

2.4 Results

All participants demonstrated very high accuracy on the four dualtask combinations used at pre and post-test (training task: 98%, S-MT: 98%, R-MT: 97%, SR-MT: 97%). Variations from pretest to post-test never exceeded 1%, which shows that accuracy remained considerably high throughout all the sessions. Table 2.3 shows detailed results of the analyses on accuracy data. These results are not further described here due to absence of significant training effect or interaction. The following sections report results observed in RT data only.

2.4.1 Training sessions

An ANOVA was performed on RT with Age as between-subjects factor, and Session (1–5) and Trial type as within-subject factors. As shown in Figure 2.1, RT decreased with training, $F(4, 96) = 75.48, p < 0.001, \eta^2 = 0.76$. A Session \times Trial type interaction, $F(8, 192) = 42.96, p < 0.001, \eta^2 = 0.64$, was also observed due to a significant decrease in task-set cost after the first, $F(1, 24) = 12.76, p < 0.005, \eta^2 = 0.35$, and the fourth session, $F(1, 24) = 4.50, p < 0.05, \eta^2 = 0.15$, while dual-task cost

decreased after the first, $F(1, 24) = 31.37, p < 0.001, \eta^2 = 0.57$, the second, $F(1, 24) = 6.27, p < 0.05, \eta^2 = 0.20$, and the fourth sessions, $F(1, 24) = 11.39, p < 0.005, \eta^2 = 0.32$. There was also an Age \times Session interaction, $F(4, 96) = 3.80, p < 0.01, \eta^2 = 0.14$. A larger improvement was observed in younger adults between session one and two, $F(1, 24) = 4.50, p < 0.005, \eta^2 = 0.16$. There was no age-related difference in training after session two.

2.4.2 Pre VS. Post-training sessions

For each of the dual-task condition (training, S-MT, R-MT, SRMT), an ANOVA was performed with Group (trained vs. control participants) and Age as between-subjects factors, and Session (pre and post-training) and Trial type as within-subject factors. Results are presented in Table 2.4. The main results are summarized here to address three main questions. First, did training lead to significant improvement in dual-task performances compared to the control condition? Second, is there any age-related difference in training effects? Third, did training lead to cross-modality transfer effects and if so, were transfer equivalent among older and younger adults?

First, with regards to training effect, as can be seen in Figure 2.2 (top-left panel) RT improvement in training dual-task condition was larger in the training group (-326 ms) than in the control group (-169 ms), and this effect was also characterized by a Group \times Session \times Trial type interaction. Repeated contrasts indicated that both the task-set cost (trained: -217 ms; control: -48 ms) and the dual-task cost (trained: -356 ms; control: -97 ms) decreased to a greater extent in training group than in control group. Second, an Age \times Group \times Session \times Trial types interaction, $F(2, 82) = 6.52, p < 0.01, \eta^2 = 0.13$, was observed and the interaction remained significant after controlling for general slowing, $F(2, 80) = 6.34, p < 0.005, \eta^2 = 0.14$. Age-related differences in training were further explored by examining the Group \times Session \times

Trial type interaction separately for younger and older adults. In older adults, a significant Group \times Session \times Trial type interaction was observed, $F(2, 40) = 31.29$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.61$. Figure 2.3 illustrates the changes in task-set and dual-task costs. Repeated contrasts showed a Group \times Session interaction in task-set cost $F(1, 20) = 12.84$, $p < 0.005$, $\eta^2 = 0.39$. Simple effect analyses indicated that this interaction was due to a significant drop of task-set cost in the training group (-284 ms), $F(1, 11) = 43.81$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.80$, which was not observed in the control group (-67 ms), $F(1, 9) = 2.63$, ns, $\eta^2 = 0.23$. A significant Group \times Session interaction was also observed in dual-task cost, $F(1, 20) = 29.81$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.60$. Dual-task cost decreased in the training group (-430 ms), $F(1, 11) = 106.42$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.91$, but not in the control group (-45 ms), $F(1, 9) = 0.59$, ns, $\eta^2 = 0.06$. In younger adults, a significant Group \times Session \times Trial type interaction, $F(2, 42) = 8.03$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.28$, was also observed. Alike older adults, repeated contrasts showed a Group \times Session interaction in task-set cost, $F(1, 21) = 28.27$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.57$. Simple effect analyses showed a significant drop in task-set cost in the training group (-150 ms), $F(1, 12) = 73.06$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.86$, and a somewhat smaller decrease in the control group (-28 ms), $F(1, 9) = 5.36$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.37$. Moreover, the reduction in dual-task cost was not significantly different among trained and control participants, $F(1, 21) = 3.70$, $p = 0.068$, $\eta^2 = 0.15$. Improvement in dual-task cost was significant in both training (-282 ms), $F(1, 9) = 12.86$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.59$, and control group (-149 ms), $F(1, 12) = 30.29$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.72$.

Third, regarding transfer effects, results showed an overall improvement in all three transfer dual-task conditions, as indicated by a Group \times Session interaction. In all conditions, improvement was larger in training group (S-MT: -239 ms; RMT: -175 ms; SR-MT: -122 ms) than in control group (S-MT: -93 ms; R-MT: -67 ms; SM-RT: -51 ms). However, improvement in task-set and dual-task costs depends upon transfer condition. A Group \times Session \times Trial type interaction was observed in the S-

MT and the R-MT. Repeated contrasts showed that dual-task cost decreased more in training group (S-MT: -181 ms; R-MT: -187 ms) than in control participants (S-MT: -58 ms; R-MT: -34 ms) in both condition, but there was no group difference in change in task-set cost. In the SR-MT condition, neither task-set nor dual-task cost showed group difference in change from pretest to post-test. Finally, the absence of Age \times Group \times Session or Age \times Group \times Session \times Trial Type interaction in the three transfer dual-task combinations suggest that training-related changes in performance were equivalent among older and younger adults.

2.5 Discussion

The present study assessed the limits of cross-modality transfer effects after dual-task training in older and younger adults. Participants completed 5 h of dual-task training with a dual-task combination that involved two visual discrimination tasks and both tasks were answered manually through keyboard keys. The main objectives of the present study were to determine (a) if far modality transfer effects occur on tasks with untrained stimuli and/or motor responses modalities, (b) if transfer effects are due to specific improvements on task-set cost or dual-task cost, (c) if there are age-related differences in dual-task transfer effects. Participants were assessed before and after training on several dual-task conditions; (1) auditory stimuli and keyboard responses (S-MT), (2) visual stimuli and wheel and brakes responses (R-MT), (3) auditory stimuli and wheel and brake responses (SR-MT).

As expected, the training effectiveness was confirmed as both younger and older adults showed improved performance after training, but training effects differed among age groups. In older adults, the training group showed improved task-set and dualtask costs compared to controls, while in younger adults, only task-set cost showed significant improvement. In younger adults, both training and control groups

showed improved dual-task cost. This suggests that in younger adults' minimal exposition to the dual-task condition (test–retest effect) leads to significant improvement in task coordination. Overall, these results on training effects are highly consistent with previous findings using the same training paradigm (Bherer et al., 2005, 2008).

The specific contribution of the present study was to test the limits of modality transfer effects induced by dual-task training. Results of the present study indicated that participants that completed the training showed larger improvement in all three transfer-task combinations compared to control participants. Therefore, results support the existence of far modality transfer effects since training led to significant improvements in conditions in which both input and output modalities changed from training to transfer tasks conditions. Moreover, training led to significant improvements in dual-task cost in both S-MT and R-MT. These findings are of major importance since they demonstrate that training effects can be observed after dual-task training despite the fact that stimuli or motor response modalities differed from training. This suggests that training leads to greater learning than a specific stimuli/response association and that this learning can be generalized to new situations. However, since task-set cost did not decrease after training, it is unlikely that the improvement observed in the S-MT and R-MT dual-task conditions arose from better preparation of stimulus–response mapping or from a decrease of the task load on working memory. The present results thus suggest that transfer effects are supported by an improvement in executive control required to coordinate two concurrent tasks. However, the results observed in the SR-MT dual-task conditions brought limited support to this conclusion. In fact, in this condition, attentional costs did not improve, which suggests that performance improvement was merely supported by a general improvement in processing speed.

Liepelt et al. (2011) and Strobach et al. (2011) observed transfer in novel tasks of the same modalities and concluded that transfer in dual-task was relatively robust. In line with this, results of the present study suggest that training did improve a set of skills that are independent of the specific modality characteristics of the training program. However, past studies did not assess transfer effect when both input and output modalities differ from training. Results of the present study suggest that transfer effects can be limited when both stimuli and response modalities differed from the training conditions.

The improvement observed here in a dual-task condition that involved visual stimuli or motor responses has strong theoretical and practical implications. In fact, it has been reported that age-related dual-task deficits are larger when both tasks involve a visual input and a similar motor outputs (Hartley, 2001; Hein and Schubert, 2004). The present findings suggest that after dual-task training participants tend to overcome input and output interference, which leads to better coordination of two concurrent tasks and that this improvement is equivalent among younger and older adults. With regards to potential application in the context of cognitive rehabilitation, results of the present study suggest that a patient trained on a visual balance multitask would also improve on an auditory balance multitasks. This supports the uses of computerized software and videogames devices in modalities that are not exactly the same as the activities of daily living that they aimed to improve.

The present findings also suggest that there are some limits in the extent to which transfer occurs after dual-task training. When both input stimuli and response mode changed in the SR-MT condition, improvements of task-set cost and dual-task cost were equivalent among training and control groups, despite a larger gain overall in the training group. This suggests that transfer may be limited to an increase of general speed when the transfer condition shares neither stimuli nor motor response modality

with the training dual-task condition. Together with the results observed in the S-MT and R-MT dual-task conditions, these results suggest that learning to coordinate two concurrent tasks is relatively modality specific and would not lead to improvement in coordinating sets of new stimuli with new responses modality. It thus seems that the general improvement observed in the SR-MT condition may, in fact, be caused by a familiarization toward the dual-task environment. It may also be that only the training group was exposed to a feedback on speed, which would have led to enhanced motivation to provided faster responses with training.

With regard to potential age-related differences in transfer effects, results of the present study suggest quite consistently ageequivalent generalizable gains. Among all the three transfer dualtask combinations, transfer effects were equivalent between older and younger participants. These results bring further support to the notion that cognitive plasticity is preserved in advance age (Verhaeghen, 2000; Basak et al., 2008). Improvements induced by cognitive training, as observed in the present study, can be attributed to cognitive plasticity. In fact, neural correlates of dual-task performance improvement have been observed in studies using a dual-task paradigm very similar to the one used in the present study (Erickson et al., 2005, 2007). According to Lovden et al. (2010), two phenomena can induce improvement of performance after training: flexibility which denotes the capacity to optimize the brain's performance within the limits of the current state of functional supply and plasticity which denotes the acquisition of new knowledge and change of the current state of functional supply. Future studies would be require to specify whether transfer effects observed in the present study are due to improved flexibility (e.g., better coordination strategies) or neural plasticity (wider or more efficient neuronal recruitment).

The present study has some limits. In order to consolidate present findings, one should verify that the patterns of effects observed here are not specific to the training protocol that was used. For example, it would be interesting to examine if training with auditory stimuli and verbal responses induces transfer effects in dual-task condition that combines visual stimuli and manual responses. Future studies should also assess the maintenance of transfer effects by re-evaluating subjects after a few months. Finally, more attention should be given to training components that enhance transfer. For example, varying task priorities and individualizing feedback might be among the determining components that support transfer.

Little is known about the extent and limits of transfer effects following cognitive training. The present study innovates by supporting far transfer modality to untrained stimuli and untrained response modalities. While a few studies have investigated transfer to untrained stimulus modality, none had systematically examined transfer to untrained motor responses. In the present study, transfer effects were notably large even though the training lasted only 5 h distributed on 2–3 weeks. Considering the growing interest in cognitive interventions that include dual-task training in order to preserve older adults gait and balance (Li et al., 2010), as well as driving abilities (Cassavaugh and Kramer, 2009), it appears important to identify the mechanisms by which transfer effects occur and to better understand the extent and limits of transfer effects that can be expected after dual-task training. Such knowledge could support development of new training paradigms that target real-life situations.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by a discovery grant from the National Sciences and Engineering Research Council of Canada to Louis Bherer and fellowships from the Canadian Institutes of Health Research to Maxime Lussier and Christine Gagnon.

2.6 References

- Barnett, S. M., and Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. *Psychol. Bull.* 128, 612–637.
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W., and Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychol. Aging* 23, 765–777.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M.S., Colcombe, S., Erickson, K., and Becic, E. (2005). Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychol. Aging* 20, 695–709.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M.S., Colcombe, S., Erickson, K., and Becic, E. (2006). Testing the limits of cognitive plasticity in older adults: application to attentional control. *Acta Psychol. (Amst.)* 123, 261–278.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M.S., Colcombe, S., Erickson, K., and Becic, E. (2008). Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Exp. Aging Res.* 34, 188–219.
- Bohnen, N., Jolles, J., and Twijnstra, A. (2002). Neuropsychological deficits in patients with persistent symptoms six months after mild head injury. *Neurosurgery* 30, 692–695; discussion 695–696.
- Broman, A. T., West, S. K., Munoz, B., Bandeen-Roche, K., Rubin, G. S., and Turano, K. A. (2004). Divided visual attention as a predictor of bumping while walking: the Salisbury Eye Evaluation. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 45, 2955–2960.
- Cabeza, R. (2001). Cognitive neuro-science of aging: contributions of functional neuroimaging. *Scand. J. Psychol.* 42, 277–286.
- Cabeza, R., Daselaar, S. M., Dolcos, F., Prince, S. E., Budde, M., and Nyberg, L. (2004). Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cereb. Cortex* 14, 364–375.
- Cassavaugh, N. D., and Kramer, A.F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Appl. Ergon.* 40, 943–952.

- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., and Gonzales de Sather, J. C. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Dev. Psychol.* 37, 715–730.
- Chaparro, A., Wood, J. M., and Carberry, T. (2005). Effects of age and auditory and visual dual tasks on closed-road driving performance. *Optom. Vis. Sci.* 82, 747–754.
- Clay, O. J., Wadley, V. G., Edwards, J. D., Roth, D. L., Roenker, D. L., and Ball, K. K. (2005). Cumulative meta-analysis of the relationship between useful field of view and driving performance in older adults: current and future implications. *Optom. Vis. Sci.* 82, 724–731.
- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Backman, L., and Nyberg, L. (2008a). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science* 320, 1510–1512.
- Dahlin, E., Nyberg, L., Backman, L., and Neely, A. S. (2008b). Plasticity of executive functioning in young and older adults: immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychol. Aging* 23, 720–730.
- Davidson, D. J., Zacks, R. T., and Williams, C. C. (2003). Stroop interference, practice, and aging. *Neuropsychol. Dev. Cogn. B Aging Neuropsychol. Cogn.* 10, 85–98.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., and Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cereb. Cortex* 18, 1201–1209.
- Elke, K., Begerow, J., Oppermann, H., Kramer, U., Jermann, E., and Dünemann, L. (1999). Determination of selected microbial volatile organic compounds by diffusive sampling and dual-column capillary GC-FID—a new feasible approach for the detection of an exposure to indoor mould fungi? *J. Environ. Monit.* 1, 445–452.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., and Kramer, A. F. (2005). Neural correlates of dual-task performance after minimizing task-preparation. *Neuroimage* 28, 967–979.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., and Kramer, A. F. (2007). Training-induced functional activation changes in dual-task processing: an fMRI study. *Cereb. Cortex* 17, 192–204.

- Folstein, M. F., Folstein, S. E., and McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state." A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J. Psychiatr. Res.* 12, 189–198.
- Glass, J. M., Schumacher, E. H., Lauber, E. J., Zurbriggen, E. L., Gmeindl, L., Kieras, D. E., and Meyer, D. E. (2000). Aging and the psychological refractory period: task-coordination strategies in young and old adults. *Psychol. Aging* 15, 571–595.
- Green, C. S., and Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychol. Aging* 23, 692–701.
- Hartley, A. A. (2001). Age differences in dual-task interference are localized to response-generation processes. *Psychol. Aging* 16, 47–54.
- Hein, G., and Schubert, T. (2004). Aging and input processing in dual-task situations. *Psychol. Aging* 19, 416–432.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., and Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 6829–6833.
- Karbach, J., and Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Dev. Sci.* 12, 978–990.
- Kramer, A. F., Larish, J., and Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in a dual task setting: a comparison of young and old adults. *J. Exp. Psychol. Appl.* 1, 50–76.
- Kramer, A. F., and Madden, D. J. (2008). "Attention," in *The Handbook of Aging and Cognition*, 3rd Edn, eds F. I. M. Craik and T. A. Salthouse (New York: Psychology Press), 189–250.
- Kray, J., Eber, J., and Karbach, J. (2008). Verbal self-instructions in task switching: a compensatory tool for action-control deficits in childhood and old age? *Dev. Sci.* 11, 223–236.
- Kray, J., and Eppinger, B. (2006). Effects of associative learning on age differences in task-set switching. *Acta Psychol. (Amst.)* 123, 187–203.
- Kray, J., and Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychol. Aging* 15, 126–147.

- Lezak, M. D., Howieson, D. B., and Loring, D. W. (2004). *Neuropsychological Assessment*, 4th Edn. New York: Oxford University Press.
- Li, K. Z., Roudaia, E., Lussier, M., Bherer, L., Leroux, A., and McKinley, P. A. (2010). Benefits of cognitive dual-task training on balance performance in healthy older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 65A, 1344–1352.
- Liepelt, R., Strobach, T., Frensch, P., and Schubert, T. (2011). Improved intertask coordination after extensive dual-task practice. *Q. J. Exp. Psychol. (Hove)* 64, 1251–1272.
- Lovden, M., Backman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., and Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychol. Bull.* 136, 659–676.
- Mackay-Brandt, A. (2011). Training attentional control in older adults. *Neuropsychol. Dev. Cogn. B. Aging Neuropsychol. Cogn.* 18, 432–451.
- McDowd, J. M., and Shaw, R. L. (2000). “Attention and aging: a functional perspective,” in *The Handbook of Aging and Cognition*, eds F. I. M. Craik and T. A. Salthouse (Mahwah: Erlbaum), 221–292.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., and Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature* 465, 775–778.
- Reitan, R. M. (1958). Validity of the trail making test as an indicator of organic brain damage. *Percept. Mot. Skills* 8, 271–276.
- Schumacher, E. H., Seymour, T. L., Glass, J. M., Fencsik, D. E., Lauber, E. J., Kieras, D. E., and Meyer, D. E. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance: uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychol. Sci.* 12, 101–108.
- Strobach, T., Frensch, P. A., Soutschek, A., and Schubert, T. (2011). Investigation on the improvement and transfer of dual-task coordination skills. *Psychol. Res.* (in press).
- Strobach, T., Liepelt, R., Schubert, T., and Kiesel, A. (2012). Task switching: effects of practice on switch and mixing costs. *Psychol. Res.* 76, 74–83.
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Nutley, S. B., Bohlin, G., and Klingberg, T. (2008). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Dev. Sci.* 12, 106–113.

- Verghese, J., Buschke, H., Viola, L., Katz, M., Hall, C., Kuslansky, G., and Lipton, R. (2002). Validity of divided attention tasks in predicting falls in older individuals: a preliminary study. *J. Am. Geriatr. Soc.* 50, 1572–1576.
- Verhaeghen, P. (2000). “The interplay of growth and decline. Theoretical and empirical aspects of plasticity of intellectual and memory performance in normal old age,” in *Cognitive Rehabilitation in Old Age*, eds R. D. Hill, L. Bäckman, and A. S. Neely (New York: Oxford University Press), 3–22.
- Verhaeghen, P. (2011). Aging and executive control: reports of a demise greatly exaggerated. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 20, 174–180.
- Verhaeghen, P., and Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: a review of meta- analyses. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 26, 849–857.
- Verhaeghen, P., Steitz, D. W., Sliwinski, M. J., and Cerella, J. (2003). Aging and dual-task performance: a meta-analysis. *Psychol. Aging* 18, 443–460.
- Voelcker-Rehage, C., and Alberts, J. L. (2007). Effect of motor practice on dual-task performance in older adults. *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* 62, P141–P148.
- Wechsler, D. (1997). Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition: Administration and Scoring Manual. San Antonio: The Psychological Corporation.
- Zelinski, E. M. (2009). Far transfer in cognitive training of older adults. *Restor. Neurol. Neurosci.* 27, 455–471.

Table 2.1 Demographic Data and Performance Scores on the Tests Measuring Cognitive Functions

	Older				Younger			
	Trained (N=13)		Control (N=10)		Trained (N=13)		Control (N=10)	
Demographical data	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Age(years)	68.5	6.9	68.5	7.6	24.1	3.9	23.1	2.8
Gender (# of women)	11		7		7		6	
Education (years)	14.9	1.7	13.7	4.0	14.9	1.7	15.7	1.8
IQSP	10.8	3.3	13.6	5.7	9.7	6.1	6.7	5.5
General cognition								
Mini Mental State Examination	28.3	1.2	28.8	.8				
Abstraction								
Similarity (WAIS-III)	24.0	4.1	24.9	4.2	27.0	3.7	24.6	3.7
Matrix (WAIS-III)	15.4	4.4	15.7	4.2	21.9	1.6	21.2	2.0
Short-term and working memory								
Digit span forward	9.3	1.8	9.5	1.6	11.0	1.8	10.3	1.9
Digit span backward	6.9	2.2	7.2	3.9	7.9	1.9	7.9	2.5
Processing speed								
Digit coding (score)	63.7	13.0	58.5	17.6	82.7	15.4	86.3	21.1
Stroop-word (ms)	42.6	5.0	43.8	5.5	37.4	6.4	40.3	4.9
Stroop-color (ms)	70.4	11.8	65.7	11.1	55.7	11.8	63.8	11.4
Trail A (ms)	37.0	10.8	41.0	14.5	23.5	7.0	27.3	7.8
Verbal fluency								
Verbal fluency P-T-L	47.5	13.3	51.3	12.6	50.9	8.8	49.3	6.6
Attention and executive functions								
Stroop-interference (ms)	120.8	23.3	113.9	21.8	87.8	15.5	92.7	18.9
Stroop-switching (ms)	137.6	29.3	137.0	30.6	107.0	21.2	115.2	30.2
Trail B (ms)	85.8	31.5	87.0	23.7	54.5	19.7	49.8	12.0

Table 2.2 Blocks and trials on the dual-tasks before, during and after training

		Pre- and post-training sessions					
Overall time		20 min. approx.					
Conditions		Visual stimuli + keyboard responses, Visual stimuli + wheel & brakes responses, Auditory stimuli + keyboard responses, Auditory stimuli + wheel & brakes responses					
Type of trials	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3-4		Bloc 5	Bloc 6	
# of trials	Single-pure 20	Single-pure 20	Single-mixed 40	& Dual-mixed 40	Single-pure 20	Single-pure 20	
Task	A	B	A or B	or A and B	A	B	
		Training sessions					
Overall time		20 min. approx.					
Conditions		Only Visual stimuli + keyboard responses					
Type of trials	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3-10		Bloc 11	Bloc 12	
# of trials	Single-pure 20	Single-pure 20	Single-mixed 80	& Dual-mixed 80	Single-pure 20	Single-pure 20	
Task	A	B	A or B	or A and B	A	B	

Table 2.3 Results of the Analyses of Variance Performed on Accuracy for the Trained and Transfer Tasks Comditions Used in the Pretraining and Posttraining Session

	Trained task				Transfer tasks											
	Visual-Keyboard				Response-MT				Stimuli-MT				Stimuli&Response-MT			
	Df	F	p<	η^2	df	F	p<	η^2	F	p<	η^2	F	p<	η^2		
Age (younger-older)	1, 41	6.43	.05*	.13	1, 42	1.22	n.s.	.03	3.71	n.s.	.08	0.13	n.s.	.00		
Group (trained-control)	1, 41	2.56	n.s.	.06	1, 42	3.98	n.s.	.08	1.32	n.s.	.03	5.93	.05	.12		
Type of trial (SP, SM, DM)	2, 82	49.57	.001*	.54	2, 84	35.00	.001*	.46	44.73	.001*	.51	45.49	.001*	.52		
Age X Type	2, 82	1.05	n.s.	.02	2, 84	0.13	n.s.	.00	0.44	n.s.	.01	0.24	n.s.	.01		
on task-set cost	1, 41	0.44	n.s.	.01	1, 42	0.26	n.s.	.00	0.70	n.s.	.02	0.44	n.s.	.01		
on dual-task cost	1, 41	0.74	n.s.	.02	1, 42	0.06	n.s.	.00	0.23	n.s.	.01	0.33	n.s.	.01		
Age X Session	1, 41	8.97	.05*	.18	1, 42	4.08	.05*	.09	20.40	.001	.32	2.49	n.s.	.06		
Group X Session	1, 41	0.65	n.s.	.02	1, 42	0.03	n.s.	.00	5.16	.05*	.11	2.33	n.s.	.05		
Group X Session X Type of trial	2, 82	3.10	n.s.	.07	1, 84	0.80	n.s.	.02	2.44	n.s.	.05	0.72	n.s.	.02		
on task-set cost	1, 41	2.02	n.s.	.05	1, 42	0.32	n.s.	.01	1.30	n.s.	.03	1.08	n.s.	.03		
on dual-task cost	1, 41	.84	n.s.	.02	1, 42	0.39	n.s.	.01	.81	n.s.	.02	1.19	n.s.	.03		

Table 2.4 Results of the Analyses of Variance Performed on Reaction Time for the Trained and Transfer Conditions Used in the Pretraining and Post-training Sessions

	Trained task				Transfer tasks											
	Visual-Keyboard				Response-MT				Stimuli-MT				Stimuli&Response-MT			
	Df	F	p<	η^2	df	F	p<	η^2	F	p<	η^2	F	p<	η^2		
Age (younger-older) Session	1, 41	80.62	.001*	.66	1, 42	37.56	.001*	.47	37.52	.001*	.47	18.27	.001*	.30		
Group (trained-control) Type of trial (SP, SM, DM)	1, 41	4.43	.042*	.10	1, 42	0.08	n.s.	.00	0.28	n.s.	.01	0.01	n.s.*	.00		
Age X Type of trial on task-set cost	2, 82	503.52	.001*	.93	2, 84	325.98	.001*	.89	601.46	.001*	.94	512.07	.001*	.92		
Age X Type of trial on dual-task cost	2, 82	35.43	.001*	.46	2, 84	26.20	.001*	.38	13.66	.001*	.25	11.16	.001*	.21		
Age X Session	1, 41	16.37	.001*	.29	1, 42	11.75	.001*	.22	12.45	.001*	.23	8.34	.006*	.17		
Group X Session	1, 41	43.38	.001*	.51	1, 42	28.35	.001*	.40	11.37	.002*	.21	9.55	.004*	.19		
	1, 41	21.30	.001*	.34	1, 42	12.51	.001*	.23	2.64	.112	.06	4.84	.033*	.10		
	1, 41	72.84	.001*	.64	1, 42	13.54	.001*	.24	17.43	.001*	.29	4.93	.032*	.16		
Age X Group X Session	1, 41	11.72	.001*	.22	1, 41	.64	n.s.	.01	2.64	n.s.	.06	.582	n.s.	.01		
Session X Group X Type of trial	2, 82	37.58	.001*	.48	1, 84	11.45	.001*	.21	6.71	.001*	.14	2.64	n.s.	.06		
on task-set cost	1, 41	28.22	.001*	.41	1, 42	2.40	n.s.	.05	0.90	n.s.	.02	3.39	n.s.	.08		
on dual-task cost	1, 41	27.55	.001*	.40	1, 42	14.49	.001*	.26	8.37	.006*	.17	0.88	n.s.	.35		

2.7 Figure captions

Figure 2.1 Mean reaction time (ms) for younger and older adults in the three trial types within training sessions

Figure 2.2 Mean reaction time (ms) in older and younger adults at pretraining and posttraining session, for the trained tasks, the response modality transfer task, the stimuli modality transfer task, and the stimuli-response modality transfer task.

Figure 2.3 Mean task-set cost and dual-task cost in older and younger adults at pretraining and posttraining session, for the trained tasks, the response modality transfer task, the stimuli modality transfer task, and the stimuli-response modality transfer task.

Figure 2.1 Mean reaction time (ms) for younger and older adults in the three trial types within training sessions

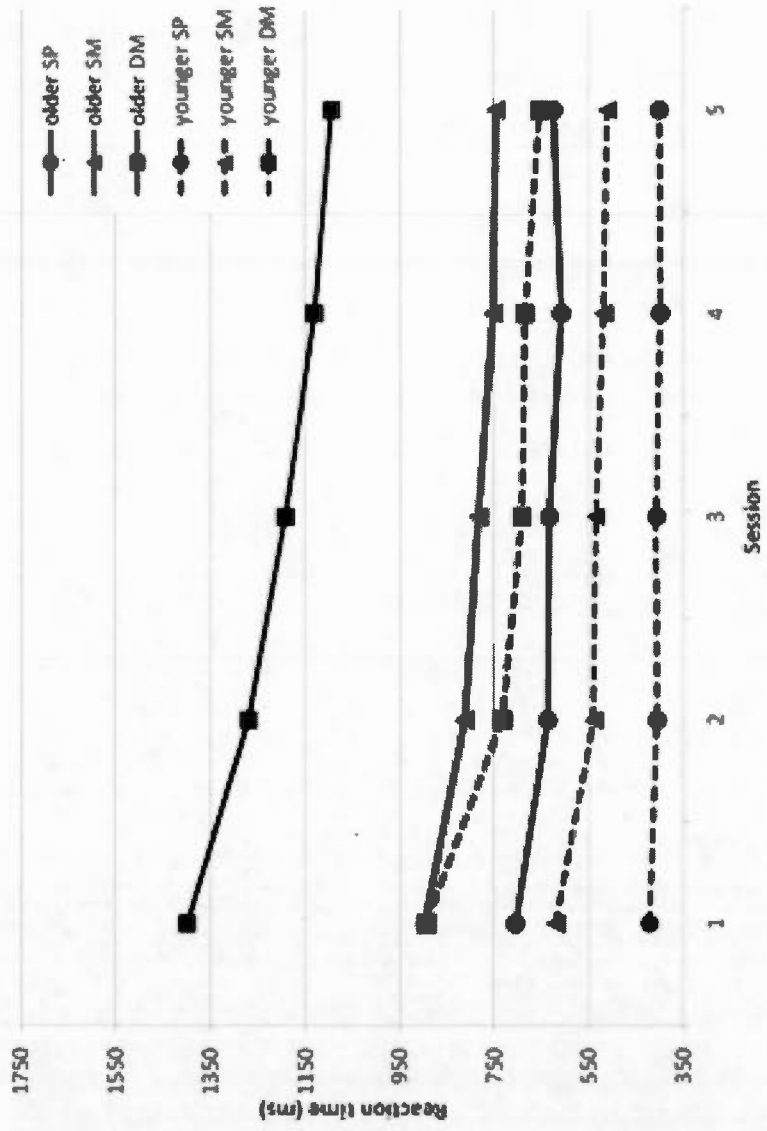
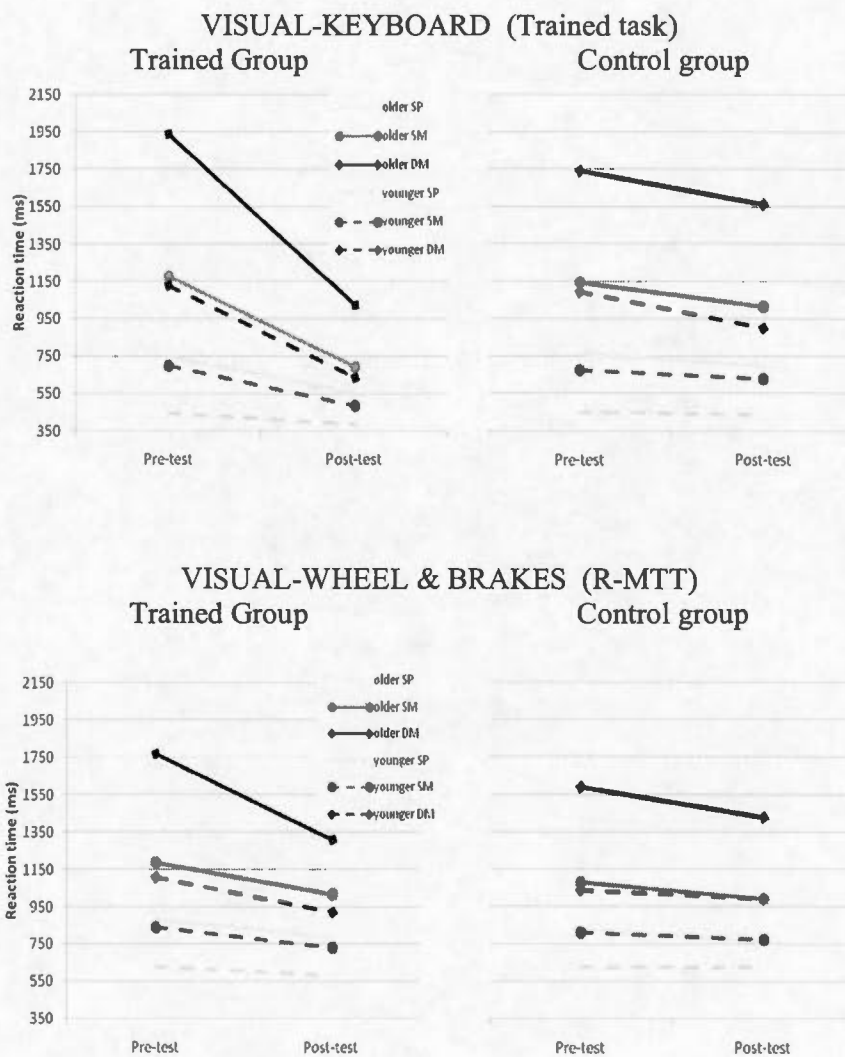
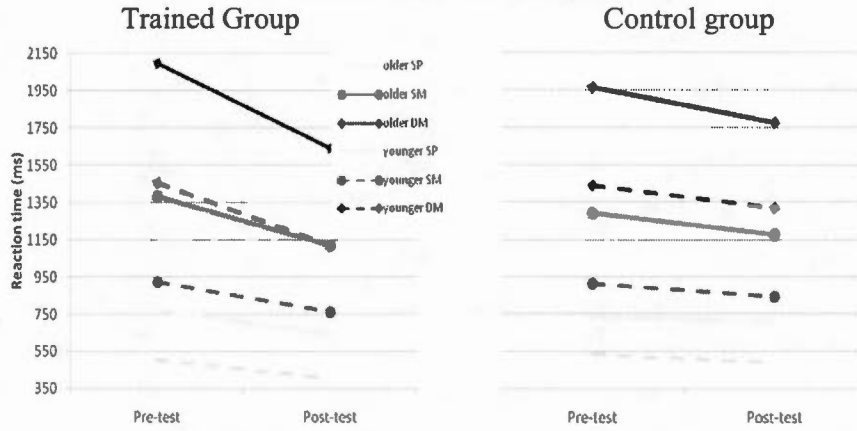


Figure 2.2 Mean reaction time (ms) in older and younger adults at pretraining and posttraining session, for the trained tasks, the response modality transfer task, the stimuli modality transfer task, and the stimuli-response modality transfer task.



AUDITORY-KEYBOARD (S-MTT)



AUDITORY-WHEEL & BRAKES (SR-MTT)

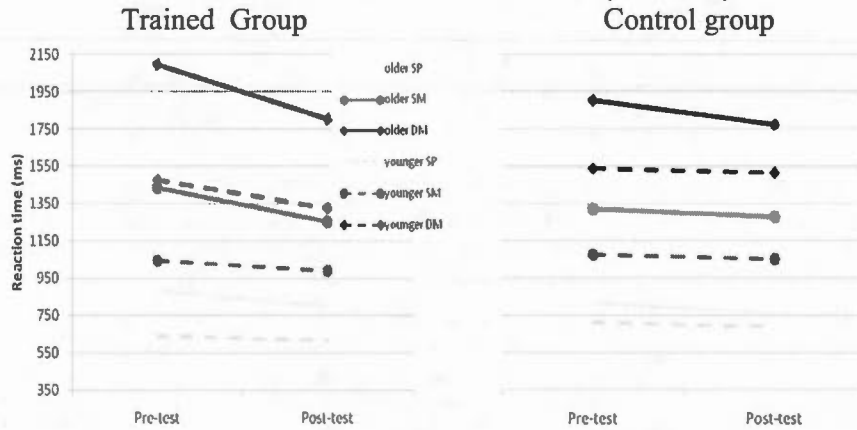
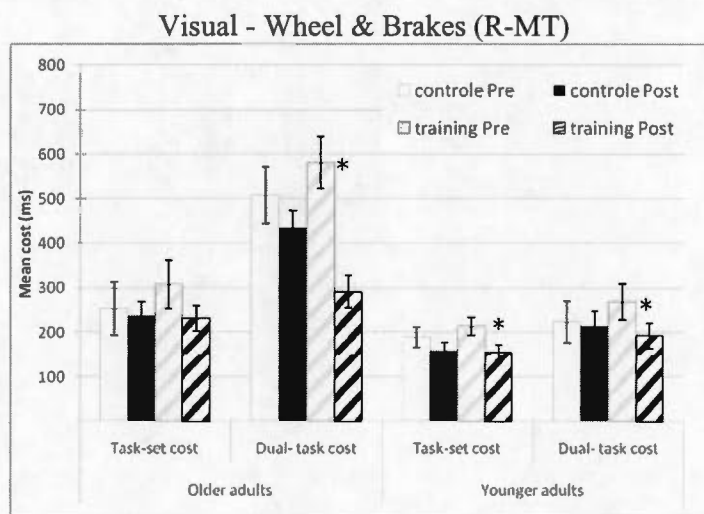
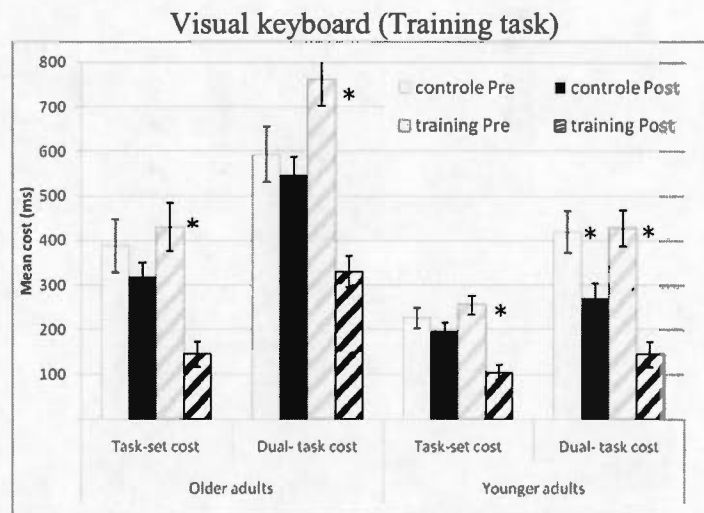
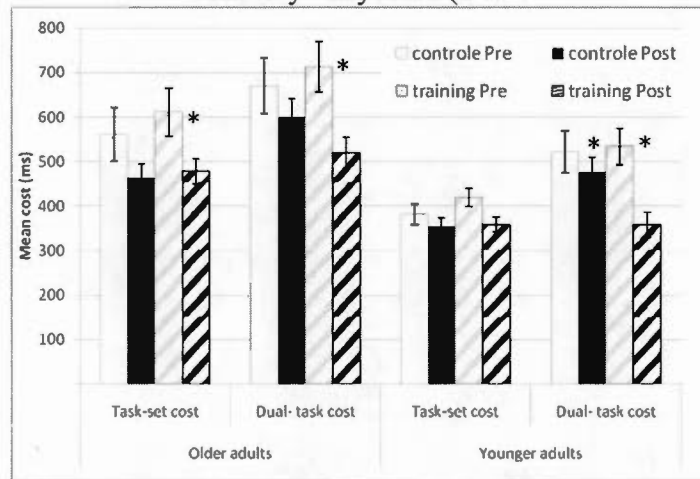


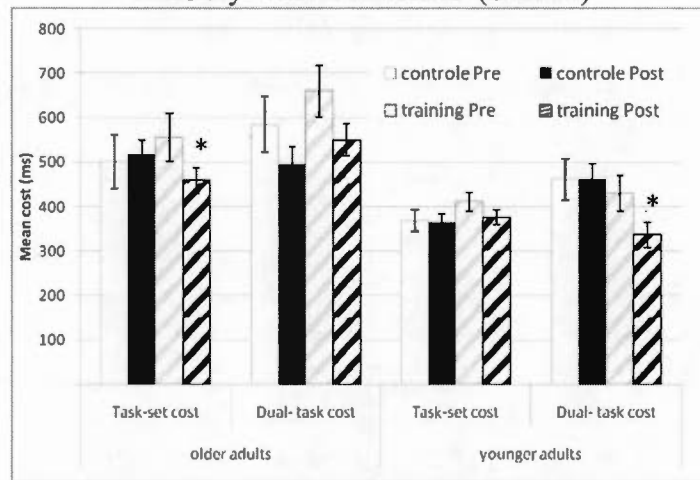
Figure 2.3 Mean task-set cost and dual-task cost in older and younger adults at pretraining and posttraining session, for the trained tasks, the response modality transfer task, the stimuli modality transfer task, and the stimuli-response modality transfer task.



Auditory - keyboard (S-MT)



Auditory - Wheel & Brakes (SR-MT)



CHAPITRE III
ARTICLE 2 - *SPECIFIC TRANSFER EFFECT FOLLOWING VARIABLE PRIORITY
DUAL-TASK TRAINING IN OLDER ADULTS*

Référence : Lussier, M., Bugajska, A., Bherer, L.(2015, submitted). Specific transfer effect following variable priority dual-task training in older adults. *Restorative Neurology and Neuroscience*.

Running head : TRANSFER IN VARIABLE PRIORITY TRAINING IN OLDER
ADULTS

Specific transfer effect following variable priority dual-task training in older adults

Maxime Lussier ^{1,2}

Aurélia Bugajska ³

Louis Bherer ^{2,4}

¹Université du Québec à Montréal, Canada

²Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, Canada

³LEAD-CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, France

⁴PERFORM Centre, Concordia University, Montréal, Canada

3.1 Abstract

Past studies on cognitive training of divided attention in older adults have suggested that variable priority training (VPT) tends to show larger improvement than fixed priority training (FPT), but it remains unclear whether VPT leads to larger transfer effects. In this study, eighty-three older adults aged between 55 and 65 years old received five 1-hour sessions of VPT, FPT or an active placebo. Participants in VPT and FPT groups trained on a complex dual-task condition with variable stimulus timings in order to promote more flexible and self-guided strategies in terms of attentional priority devoted to the concurrent tasks. Real-time individualized feedback was also provided to encourage improvement. The active placebo group received computer courses. Near and far modality transfer tasks were used to assess the generalization of transfer effects. Results showed that VPT induced significantly larger transfer effects than FPT on a near modality transfer task and showed some evidence for larger transfer effects on a far modality transfer task. Furthermore, the superiority of VPT on FPT in transfer effects was specific to the ability to coordinate two concurrent tasks. Results of this study help better understand the benefits of attentional training with VPT on transfer effects, an essential outcome for cognitive training effectiveness and relevancy.

Key words: Cognitive training, transfer, divided attention, variable priority training, older adults

3.2 Introduction

In the past few years, a wide range of studies have observed that cognitive training leads to training-specific improvements in older adults (Karbach & Schubert, 2013; Lovden, Backman, Lindenberger, Schaefer, & Schmiedek, 2010), for reviews). Cognitive training is thought to challenge an individual's capacity and to lead to additional recruitment of cognitive resources rarely used in daily life. Both younger and older adults seem to respond to a cognitive challenge with structural changes and reorganization in task-relevant brain areas (Lindenberger, 2014; Park & Reuter-Lorenz, 2009). However, the extent to which new learning leads to benefits in a novel situation (transfer effects) remains a matter of debate (Green & Bavelier, 2008; Willis & Schaie, 2009). From a clinical standpoint, transfer effects are mandatory if cognitive training is to be used as a tool to maintain and enhance cognitive functions in older adults' daily activities. Still, research needs to be done to further our understanding of fundamental mechanisms of transfer and to unveil aspects of training that play a critical role to enhance transfer effects, as design choices can impact substantially on cognitive training outcomes (Lampit, Hallock, & Valenzuela, 2014). Green & Bavelier (2008) suggested that variation in learning experience is a key element to optimize transfer effects. However, empirical support for this is lacking. Several studies have looked at the potential benefit of variable strategy training in the realm of attention and attentional control training. In a variable priority training (VPT) procedure, participants are required to vary attentional priority between two concurrent tasks, as opposed to a more typical fixed priority training (FPT), in which attention is equally shared between tasks. A few studies have shown that divided attention training leads to larger performance gain with a VPT procedure than with FPT (Bier, de Boysson, & Belleville, 2014; Kramer, Larish, & Strayer, 1995; Kramer, Larish, Weber, & Bardell, 1999; Lee et al., 2012; Silsupadol et al., 2009). However, whether the VPT procedure leads to larger and broader transfer effects deserves further studies. The goal of this study was to investigate the benefits

of variable priority strategy in divided attention training and to assess whether it leads to larger transfer effects than fixed priority training in older adults.

There is no consensus on the mechanisms underlying the advantage of VPT over FPT. According to Cassavaugh & Kramer (2009), training individuals to successfully shift priorities among tasks help them emphasizing the relationships between different task components, which is a crucial attention control skill when performing several tasks. Also, individuals can focus on a specific component of the task while considering the general context of it, thereby reducing processing demands encountered during initial learning. Gopher (2007) also suggests that training of processes in a speeded complex task with multiple attentional demands (e.g., driving) produces better learning if the training involves variable emphasis on different components of the task rather than training on individual components in blocked presentations. Finally, VPT might lead to more benefits than FPT simply by encouraging participants to pursue different ways to perform a task, leading to more efficient learning (Schmidt & Bjork, 1992). Overall, VPT seems to call upon the ability to control and distribute attention and may play an important role in further enhancing dual-task coordination skills.

In a set of studies comparing VPT and FPT in dual-task performances (Kramer et al., 1995; Kramer et al., 1999), younger and older adults were trained to monitor several gauges and to simultaneously perform a 1-back task based on judgment of alphanumeric problems. Individualized adaptive feedback was provided continuously to the participants in order to ensure that task prioritization instructions were followed. Though both groups did improve through training, VPT led to accelerated learning of the task and to a larger magnitude of improvement in accuracy and speed of processing on the trained task. In another study, Silsupadol et al. (2009) trained participants aged 65 and older to walk between two strips of tape while counting

backward by 3s. Results showed that participants in VPT improved to a greater extent than those following a more typical FPT. Similarly, Boot et al. (2010) showed that in younger adults extensive (20hrs) VPT with the complex video game Space Fortress (Donchin, 1989) led to 28% better performance than FPT. Also, participants from the VPT group reached the final performance of the FPT group in half the time. More recently, Bier et al. (2014) trained healthy older adults on a dual-task condition combining a visual detection task (pressing the spacebar when presented with a red rectangle) and judging an alphanumeric equation. Here again, VPT produced greater improvements on the trained dual-tasks than FPT.

The studies reported so far tend to suggest that VPT leads to larger magnitude of training-specific improvement than FPT. However, in a set of studies, Bherer et al. (2005, 2008) compared VPT to FPT using dual-tasks composed of two very simple 2-choice discrimination tasks (e.g., identifying letters or numbers appearing on the screen). In the dual-task paradigm they used, there are three different trial types: in single-pure (SP) trials, participants respond to one stimulus of a single task-set; in single-mixed (SM) trials, participants respond to a single stimulus of either task-set; in dual- in dual-mixed (DM) trials, participants respond to two simultaneous stimuli, one of each task-set. Comparing performances in the three types of trials provides important insight on how concurrent tasks can be performed. In fact, SP and SM trials of a given task require similar responses but performed in different contexts, and thus the difference in response time (RT) between SP and SM trials provides a task-set cost assumed to reflect the ability to maintain different response alternatives in memory and to prepare to answer to multiple tasks. A second performance index, the dual-task cost, can be computed by comparing RTs in SM trials from those in DM trials. Both trials are performed in a context involving two concurrent tasks, but only DM trials actually require to monitor the two tasks simultaneously and not sequentially. Dual-task cost is thought to reflect the cost due to the synchronization of

two concurrent tasks, by minimizing the effects of preparation for multiple responses possibilities (Bherer et al., 2005; Schumacher et al., 2001). Hence, results in Bherer et al. (2005, 2008) indicated that improvement in divided attention abilities was observed in both training VPT and VFP groups, as shown by a decrease in dual-task cost, but there was no additional benefit for the VPT group compared to the FPT group. The authors argue that the superiority of VPT over FPT may only be observed under complex task coordination and that simple tasks may not lead to the development of sophisticated task coordination strategies. But an important feature that is common to studies observing advantages for VPT over FPT is that they tend to use time-independent tasks (Bier et al., 2014; Boot et al., 2010; Kramer et al., 1995; Kramer et al., 1999; Silsupadol et al., 2009). Time-independent tasks are performed in parallel, which means that answering to one task triggers the next trial of that specific task, but does not influence the other task (e.g., repeating digit sets while checking as many boxes as possible). Time-independent tasks might have allowed for more ambiguous decisions in VPT, such as when the stimuli to be prioritize appears shortly after the unprioritize one. This uncertainty about the delay between stimulus apparitions may prevent the automatization of response pattern (e.g., “I will always answer to the stimulus of the left-hand task first, then to the other”) and may truly challenge the attention control that characterizes VPT. Hence, time-independent tasks could be an important component for the benefits of VPT to take place.

Another major issue is whether VPT leads to larger and/or broader transfer effects. Transfer effects are important to ensure that cognitive training leads to more than task-specific learning and potentially generalizes to everyday life benefits (Dahlin, Neely, Larsson, Backman, & Nyberg, 2008). Transfer effects would also suggest that cognitive training improved cognitive ability, over and beyond task-specific learning (Lindenberger, 2014). According to Zelinski (2009), transfer can be described as near or far depending on the distance between the training and the transfer conditions.

Overall, findings on transfer effects following cognitive training are relatively narrow (Melby-Lervag & Hulme, (2013) for a review). However, several studies of dual-task training have shown promising evidence of near and far transfer effects after executive function computerized training in tasks using different sensory modalities or motor responses than the one used for training (i.e., modality transfer) (Klingberg, 2010; Kueider, Parisi, Gross, & Rebok, 2012; Lustig, Shah, Seidler, & Reuter-Lorenz, 2009), for reviews). Now, the effect of VPT on transfer effects is not clear: while some of the studies have observed transfer using solely dual-task FPT (Li et al., 2010; Lussier, Gagnon, & Bherer, 2012), others have compared VPT with FPT and have observed no difference (Bherer et al., 2005, 2008; Lee et al., 2012), and others showed that VPT is more likely than FPT to induce modality transfer effects (Kramer 1995 1999, boot et al. 2012). Among the later, in Kramer et al.(1995; 1999), the transfer and training tasks were combinations of visuo-motor monitoring tasks and working memory tasks. They observed that individuals who were assigned to the VPT were better on a near modality transfer task than those who did the FPT. Importantly, VPT training benefits were larger in the dual-task condition than in the single task condition for both the training and the transfer tasks. However, one should consider that performances were not evaluated prior to training which limits the conclusions. In Boot et al. (2010), participants were assessed on several untrained tasks both prior and after training on Space Fortress. Results showed larger transfer following VPT on the transfer tasks most analogous to Space Fortress. However, with a similar protocol and the inclusion of a control group, Lee et al. (2012) failed to replicate these results.

Overall, it seems that VPT tends to show larger improvement than FPT, but the extent to which this advantage transfers to untrained tasks has not been established in the literature. The goal of the present study was to assess the superiority of VPT over FPT in transfer effects using an analogue of the task used in our previous studies

(Bherer et al., 2008; Lussier et al., 2012), but with time-independent tasks in order to favor more flexible and self-guided strategy in terms of attentional priority devoted to the concurrent tasks. According to Noack, Lovden, & Schmiedek (2014), transfer effects should be confined to the cognitive process targeted by the cognitive training. Therefore, in accordance with Kramer et al. (1999), we hypothesized that VPT would specifically improve abilities related to attentional control required to coordinate multiple response-stimulus alternatives and expected specific and larger VPT transfer effects in dual-task cost with no advantage whatsoever in more general and non VPT-specific cognitive components such as working memory and general psychomotor speed. This will be assessed in the present study by comparing near modality and far modality transfer effects in dual-task cost and task-set cost following VPT and FTP training.

3.3 Method

3.3.1 Participants

Community-dwelling adults aged between 55 and 65 years old were recruited from newspaper ads, the laboratory website, flyers posted in community centers, and libraries, as well as from the study research center's participants' pool. Exclusion criteria for the phone screening were history of neurological condition, a major surgery in the last 6 months, use of medication known to affect cognition (i.e., antidepressant or anxiolytic), body mass index (BMI) under 18.5 or over 30. Participants selected for the pre-training evaluation were screened for cognitive impairment (excluded if scored lower than 27 on the Mini-Mental State Examination (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) or depression (excluded if scored higher than 20 on the 30-items Geriatric Depression Scale (Yesavage, 1988)), but no participant exceeded these criteria. Participants received a financial compensation (10 CAD/

hour for a total of 90 CAD). The study was approved by the Ethic Review Board of the geriatric institution where the study took place and all participants provided written informed consent.

Participants' assignment proceeded by wave randomization. When a group of about ten eligible participants were recruited, they were randomly assigned to the cognitive training group or to the placebo cognitive stimulation group according to a block randomization plan generated via a website (www.randomization.com). Since training was performed in groups of 4 to 10 persons, participants from the same cohort could not be randomly assigned to VPT or FPT without compromising participants' blindness to the existence of another training group. Hence, the type of training (VPT or FPT) was the same for all participants of a given wave assigned to the training condition.

Of the initially assigned 88 participants, five could not complete the protocol due to unforeseen events. Of the participants who completed the study, 38 were assigned to the placebo cognitive stimulation group and 45 to the training groups (27 completed the VPT and 18 completed the FPT). Table 1 presents participants' characteristics. The neuropsychological assessment involved tests of general verbal abilities (Similarities, WAIS-III), processing speed (Digit Symbol, WAIS-III, X-O comparison), working memory (Digit Span, WAIS-III), episodic memory (Rey Auditory Verbal Learning Test) and executive functions (Baddeley dual-task (Della Sala, Baddeley, Papagno, & Spinnler, 1995), Stroop Color-Word Interference Test (D-KEFS (Delis, Kaplan, & Kramer, 2001), two-back task (Lezak & Lezak, 2012), and number-letter task (Rogers, 1995). ANOVAs were performed on demographic and neuropsychological data to ensure the three groups were comparable in age, gender, school years, and cognitive abilities prior to training.

INSERT TABLE 3.1 ABOUT HERE

3.3.2 Apparatus

Participants performed the dual-task paradigm in a dedicated computer room, in groups of 4-10 persons, each individual using a PC Pentium 4 with a 19" flat screen in a cubicle. Each participant used the same computer throughout the whole study protocol. The dual-task paradigm involved performing two discrimination tasks alone or concurrently. Three different dual-task conditions were used: the training condition, the near modality transfer condition and the far modality transfer conditions. For the training condition, participants had to perform a number discrimination task (3, 5 or 8) by pressing the letters A, S or D on the keyboard with their left hand, and a shape discrimination task (circle, square or diamond) by pressing the numbers 4, 8 or 6 on the numeric keypad with their right hand. The numbers were presented inside the shapes. Participants responded with their index, middle and ring fingers using their left or right hand. With the same response-mapping, the near modality transfer condition required participants to identify letters (A, B or C) and arrows (left, right or up). Stimuli were arranged vertically. Visual stimuli appeared in white on the middle of a black screen at a viewing distance of approximately 45 cm. At this distance, stimuli subtended a vertical and a horizontal visual angle of 3.17°. Visual stimuli remained on the screen until the participant provided a response. The far modality transfer condition consisted in the identification of a sound (words "GO" or "STOP") and identifying if a tone was heard on the left or right side of the headphone. Only the A, S, 4 and 8 keys were used. Only two response alternatives were used for the auditory task in order to reduce the gap in task-set cost usually observed at pre-training between visual and auditory tasks (Lussier, Gagnon et Bherer, 2012). Participants wore headphones and

could adjust volume if needed. Auditory stimuli were heard during 500ms. No buzzer sound was heard in the auditory task in case of error.

For each condition, task instructions appeared on the screen prior to each novel task step. Participants initiated each block by pressing the spacebar. Subsequent trial appeared after a short variable interval of 850 to 2850ms. Three different types of block with their respective trials were performed. In SP blocks, participants respond to one stimulus of a single task-set at a time. In SM blocks, participants respond to a single stimulus of either task-set at a time. In DM blocks, participants respond to two simultaneous stimuli, one of each task-set, in a time-independent manner: answering one stimulus triggered the next trial of the same task, but did not influence the other task. For all blocks, participants were asked to respond as quickly and as accurately as possible. For each task, a stimulus-response mapping was provided on the left and right at the bottom of the screen as a reminder of stimulus-key association. Accuracy feedback was provided when a wrong answer was made, participants heard a buzzer sound and the stimulus-response mapping associated with the erroneous answer appeared in red on the bottom of the screen.

3.3.3 Program schedule

With the exception of the first session, all sessions took place in groups of 4 to 10 participants. The research protocol was completed within a 4 to 5-week period and was divided in three phases: pre-training evaluation, training, and post-training evaluation. In the first 2-hour pre-training session, participants individually completed a neuropsychological assessment battery administered by a trained neuropsychology student who was blind to intervention assignments. Then, within two weeks following the first session, all participants engaged in a second 1-h session in groups of 2-10 participants to complete the two (visual and auditory) dual-task

transfer conditions. After the two pre-test sessions were completed, participants were assigned to the training or control group. Over a period of 2-3 weeks, both groups completed five 1-h sessions in a room containing 10 computer stations. A psychology student supervised each session. Lastly, participants completed a 1.5-h post-training session within a week following the last training session. During this last session, the two transfer dual-task combinations were administered again in order to assess the transfer effects induced by the training program. Computer training interventions

3.3.3.1 Training condition

Task instructions were administered by a trained student who did not participate in the pre or the post-training evaluations. Within each training session, a participant responded to 144 SP, 480 SM and 1080 DM trials, completing 720 SP, 2400 SM, 5400 DM in total through the five training sessions.

Importantly, a continuous feedback on performance was provided during the DM block of the training sessions (sessions 3 to 7). Feedback took the shape of two bars that changed color (green, yellow, or red) to inform participants of their response speed. Each bar was associated to one task. In order to help participants manage priorities, they were asked to try to maintain the bars in the green zone and prevent them from turning red. The color of the bars was determined by the average RT on the last three trials for the DM block compared to the median RT for the SM block multiplied by a factor of 1.5. Hence, an average RT of the three previous DM trials was equal to 1.5 X the median RT of the SM block and was considered an average performance (yellow). The bars changed to red if the average RT approached twice the SM median RT and green if it approached the actual SM mean RT. In addition to this continuous feedback, another type of feedback was provided at the end of the session, where participants were informed of mean RT and accuracy achieved

throughout the session (presented on a histogram). These two types of feedback were used to maintain participants' motivation during the training.

Finally, for participants assigned to the VPT, instructions varied between each DM block. On the first and last DM blocks of each training session, they were instructed to give equal emphasis to both tasks. On the second and fourth DM blocks, participants were asked to prioritize the tasks performed with their left hand. The right hand was to be prioritized on the third and fifth DM blocks. To guide participants, the histogram used for feedback was adjusted to fit the instructed priorities: the median SM factor was changed from 1.5 to 1.25 X for the prioritized task and to 2 X for the non-prioritized task. Participants were informed that task feedback would be more or less strict based on the priorities and they were instructed to keep the histogram of the prioritized tasks as close as possible to the green. By contrast, participants in the FPT group were always reminded to give equal emphasis to both tasks in the DM block.

3.3.3.2 Placebo cognitive stimulation

The placebo group was an active group receiving computer courses. Each session consisted of introductory exercises to computers and different software (e.g., Word, Excel), as well as an initiation to Internet (search engines, web sites, games, etc.). Cognitive stimulation sessions were held in groups of 4 to 10 participants and took place in the same computer room used for dual-task training sessions. This was done in order to minimize unwanted variability between experimental groups. The students supervising the dual-task training also taught the cognitive stimulation sessions for their respective cohorts.

3.3.4 Transfer conditions

There were few differences, other than the stimuli, between the transfer and the training dual-tasks. The transfer conditions were shorter in time and involve fewer trials: 96 SP, 192 SM and 120 DM trials each. Also, all participants were asked not to prioritize one task over the other in dual mixed blocks. Finally, no feedback was provided for speed in the transfer conditions.

3.4 Results

Dependent variables of interest were RT (in ms) and accuracy (in %). RTs were calculated independently for each discrimination task, from stimulus occurrence to the participant's response. Incorrect responses were not included in the RT analyses, and trials were also rejected if RT was shorter than 250 ms, longer than 3000 ms for SP and SM trials, or longer than 4000 ms for DM trials (near transfer: 1.27% of SP, 0.42% of SM and 1.26 % of DM trials; far transfer: 2.2% of SP, 1.85% of SM and 0.87% of DM trials). Accuracy was calculated as a percentage of correct responses in each condition.

Statistical analyses were performed with SPSS 20. Analyses were performed on RT and accuracy using ANOVAs. Significant interactions between factors were decomposed with simple-effects. In the case of a significant interaction with more than two levels of a repeated-factor, repeated-contrasts were used. Changes in task-set-cost (SM vs. SP trials) and dual-task cost (DM vs. SM trials) were also compared between groups and reported if significant. An effect is reported as significant according to the adjusted alpha level when required, that is when the Mauchly's test of sphericity was significant (SPSS, 1997). Effect sizes (η^2) were also reported. For each of the three dual-task conditions (Training, Far and Near modality transfer) there

was no interaction involving Task and improvement from pre- to post-training, and thus performances of the 2 tasks were pooled for each of the combination. Moreover, there was no group difference in accuracy and it did not vary during training neither did it change in the transfer conditions from pre-training to post-training. Accuracy was arguably high prior to training in the visual dual-task condition (SP: 98%, SM: 99%, DM, 98%) and the auditory dual-task condition (SP: 97% , SM: 95%, DM: 91%). In all likelihood, due to a ceiling effect, no significant improvement of accuracy was observed from pre to post-training for any conditions as so the following analyses report variations in RT performances only.

3.4.1 Training condition

Prior to the main analyses, it had to be demonstrated that participants from the VPT and FPT groups had followed the priorities as instructed by the program. To do so, ANOVAs were performed with Session (first to fifth) and Priority (equal priority condition, prioritized tasks, non-prioritized tasks for the VPT and corresponding blocks for the FPT) in each training group. In the VPT, results revealed a significant effect of Priority, $F(2, 52) = 22.26, p < .001, \eta^2 = .46$, suggesting that RT varied depending on the priority instruction. RT was faster in prioritized tasks than in equal priority tasks, $F(1, 26) = 21.75, p < .001, \eta^2 = .46$, and faster in equal priority tasks than in non-prioritized tasks, $F(1, 26) = 4.66, p < .05, \eta^2 = .15$, as shown in Figure 1. In the FPT group, no significant effect of Priority was observed, $p > 0.05$, which suggests that participants gave equal priority to both tasks. Therefore, results show that participants in each group adequately followed the instructions.

INSERT FIGURE 3.1 ABOUT HERE

The main analysis sought to examine whether the VPT either lead to a larger magnitude of improvement or a faster learning than the FPT. To do so, only the two blocks in which the VPT group received equal priority instruction (first and last DM blocks) were compared. An ANOVA was performed with Training (FPT vs. VPT) as the between-subject factor and Session (first to fifth) and Trial type (SP, SM, DM) as within-subject factors. A main effect of Session, $F(4, 168) = 63.12, p < .001, \eta^2 = .60$, indicated that RT decreased with training. Repeated contrasts showed that RT significantly decreased between each consecutive training session ($p < .05$). Moreover, this effect was qualified by a Session X Trial type interaction. Indeed, repeated contrasts revealed a significant decrease of dual-task cost only between the 1st and 2nd sessions, $F(1, 41) = 12.81, p < .001, \eta^2 = .23$ and again between the 4th and 5th sessions, $F(1, 41) = 20.35, p < .001, \eta^2 = .33$ (see Figure 2). Importantly, there was no Training by session interaction suggesting that improvement was equivalent in both VPT and FPT. Figure 2 shows the mean RT (panel 1), and dual-task cost and task-set cost (panel 2) in the 5 training sessions.

INSERT FIGURE 3.2 ABOUT HERE

3.4.2 Transfer conditions analyses

Two sets of analyses were performed, one for each of the transfer conditions: near-modality transfer condition (visual) and far-modality transfer condition (auditory). The ANOVA model was similar to the one used for training with Training group (FPT, VPT, placebo cognitive stimulation) as between-subject factor and Session and Trial type as within-subject factors.

3.4.2.1 Near modality transfer condition.

A Training X Session interaction was observed, $F(2, 80) = 5.59, p = .05, \eta^2 = .12$, as well as a Training X Session X Trial type interaction, $F(4, 160) = 4.10, p < .05, \eta^2 = .09$, suggesting that training programs differently impacted task-set cost and/or dual-task cost. Repeated-contrasts showed that transfer effects among groups only differed for dual-task-cost, $F(2, 80) = 3.08, p < .05, \eta^2 = .07$, and not for task-set cost. Figure 3 shows dual-task and task-set costs in the pre and post-training sessions. Simple effect analyses indicated that dual-task cost improvement was significant in all training groups, though greatly superior in the VPT (VPT: 283ms, $F(1, 26) = 29.05, p < .001, \eta^2 = .53$, FPT: 132ms, $F(1, 17) = 6.84, p < .05, \eta^2 = .29$, active placebo: 108ms, $F(1, 37) = 4.15, p < .05, \eta^2 = .10$). When contrasted between groups, reduction in dual-task cost was larger in the VPT compared to the active placebo group, $F(1, 63) = 5.15, p < .08, \eta^2 = .07$, and VPT compared to FPT, $F(1, 43) = 3.84, p < .05, \eta^2 = .07$, but equivalent between FPT and active placebo ($p < .05$).

INSERT FIGURE 3.3 ABOUT HERE

3.4.2.2 Far modality transfer condition

Three subjects refused to perform the auditory dual-task condition due to diagnosed auditory impairment and one participant was excluded from our analyses because of technical difficulties with the headset. Moreover, four participants had more difficulties than anticipated identifying the origin of the sound (left or right) and were excluded for not being able to answer in-time and correctly to more than 30% of each trial types for that specific task at pre-training. In the end, 35 participants from the placebo cognitive stimulation group, 23 from the VPT group and 17 from the FPT group completed the modality transfer condition.

Results showed a significant Training X Session interaction, $F(2, 72) = 2.99, p < .05, \eta^2 = .08$, indicating that transfer effects differed among intervention groups. Indeed, VPT (109ms) showed a significantly larger overall improvement when compared to the active placebo group (33ms), $F(1, 56) = 7.41, p < .01, \eta^2 = .12$. Overall transfer effects in the FPT group (57ms) were not different than the ones observed in the active placebo group. Cost analyses showed that dual-task cost improved in the VPT group (117 ms), $F(1, 22) = 6.23, p < .05, \eta^2 = .22$, but not in FPT (28ms) and active placebo (57ms). Figure 4 shows dual-task and task-set costs in the pre and post-training sessions.

INSERT FIGURE 3.4 ABOUT HERE

3.5 Discussion

We conducted a dual-task training study to examine the benefits of VPT over FTP and placebo condition on the acquisition of dual-task coordination skills in older adults. Our main interest focused on transfer effects, which have often been associated with improvement in executive control skills, as opposed to proceduralization of a specific stimulus-response mapping. Near and far modality transfer conditions (respectively within and cross-modality) were assessed in order to test whether coordination skills acquired through training would generalize to untrained tasks.

In line with previous studies, individualized adaptive feedback encouraging participants to follow priorities was provided as the ability to concurrently perform multiple tasks and to shift priorities might only be developed when participants are explicitly trained to do so (Bherer et al., 2005, 2008; Green & Bavelier, 2008; Kramer et al., 1995; Kramer et al., 1999; Lussier et al., 2012). Training procedures similar to

those of our previous studies were used (Bherer et al., 2008; Lussier et al., 2012), but e with time-independent tasks in order to make the task more demanding and more conducive to flexible strategies. Performances of the training groups were compared to that of a cognitive stimulation group in order to better assess specific effects of cognitive training. Before conducting main analyses, we ensured that participants from the VPT and FPT groups had followed the priorities as instructed. Failure to do so would have limited any conclusion concerning VPT and FPT comparison. Such verification is often lacking in previous studies and should always be done in future priority-training studies. As expected, the VPT group had changed their response patterns based on the instruction while FPT responses patterns remained unchanged.

To assess the specificity of transfer effects, task-set cost, a measure of the capacity to prepare for and maintain multiple task sets, and dual-task cost, a measure of the ability to perceive multiple stimuli and coordinate the execution of two responses, were analyzed. We observed comparable task-set cost reductions for VPT and FPT. However, dual-task cost reduction was significantly larger following VPT than FPT or placebo cognitive stimulation. This suggests that learning to vary attentional priorities during dual-task training leads to larger transfer effect than fixed priority training, but this effect is specific to the ability to coordinate two concurrent tasks. With regard to far modality transfer conditions, only VPT led to a greater overall transfer effect when compared to cognitive stimulation control. Interestingly, separate analyses for cost-related transfer effects showed that only the VPT led to a significant decrease of dual-tasks costs. Yet, the difference in cost-related transfer between VPT and FPT did not reach significance. Therefore, we observed modest benefits of VPT on far modality transfer, though there is evidence that VPT represented the most potent intervention. Overall, as we expected, VPT led to larger transfer effects than FPT and transfer effects were specific to the ability to coordinate multiple response-

stimulus alternatives. There was no evidence for speed-accuracy trade-off as no change in accuracy was observed in response to training.

Surprisingly, superiority of VPT over FPT was only observed in transfer conditions: Both groups reached similar magnitudes of training-specific improvement. During training, VPT group's learning curves were not steeper and by the end of the training, participants in VPT group did not produce better performances than those in FPT group when instructed to maintain equal priority among tasks. These results somewhat differ from previous findings as VPT is known to accelerate learning and to produce superior mastery in a number of contexts (Gopher, 2007). The fact that both training groups still showed significant improvement on the fifth and last training sessions suggests that results were not affected by a floor effect. Nevertheless, as Schmidt and Bjork (1992) suggested, the conditions leading to the best transfer effects are not necessarily those that lead to the best performance during training. If anything, the fact that VPT leads to the same magnitudes of training-specific improvement than FPT, while still leading to larger transfer effects, only give further support to the hypothesis that VPT can significantly enhance transfer effects. Retrospectively, it would have been interesting to assess both training groups in a situation of shifting priorities before and after training, to see whether VPT participants would have improved to a greater extent in that condition. Indeed, while improvement in both groups was comparable under fixed priority instruction, VPT training might have significantly surpassed FPT in a shifting priority situation.

VPT is believed to be an efficient way to train the ability to successfully shift priorities among two tasks (Cassavaugh & Kramer, 2009), which is consistent with the specificity of VPT transfer effects for multi-tasking condition. Participants in VPT had to maintain more flexibility in their response patterns because of the continuously changing priority instructions. By contrast, participants in FPT always

trained with the same instructions and might have developed skills leading to equivalent improvement to VPT in training condition, but those skills appeared to be more dependent of the context in which they were trained. Looking at literature on transfer effects following cognitive training, it appears that transfer effects are more frequent in training that tap into executive functioning, namely updating, flexibility, and divided attention (Brehmer, Westerberg, & Backman, 2012; Karbach, Mang, & Kray, 2010; Karbach & Verhaeghen, 2014; Li et al., 2010), possibly because executive function are less context-dependent and relies on flexible decisions based on the environment. It would therefore be plausible that VPT leads to larger transfer effects than FPT because it is more taxing on executive and attention control. Another non-exclusive explanation for VPT leading to greater transfer effects than FPT is that there was more variation of the training context in VPT than in FPT. Indeed, variability within training has been put forward as a factor that can result in larger transfer effects (Ahissar & Hochstein, 2004). The rationale is that if individuals are encouraged to perform similar tasks in different ways, they might be able to extract more general learning from their experiences leading to larger transfer effects (Balwin, 1992; Schmidt & Bjork, 1992).

This study is in line with others (Brehmer et al., 2012; Green & Bavelier, 2008; Kueider et al., 2012; Richmond, Morrison, Chein, & Olson, 2011) that aimed at identifying the parameters and characteristics that make a cognitive training effective, potent and relevant. VPT has shown promise in improving performance and learning speed in a context in which individuals are required to share and distribute attentional resources among several tasks in a short time period (Gopher, 2007). The original contribution of the present study is to demonstrate that VPT leads to larger and specific modality transfer effects than FPT in older adults. From a clinical standpoint, transfer is crucial since it supports an improvement from laboratory tasks to everyday life tasks (Geusgens, Winkens, van Heugten, Jolles, & van den Heuvel,

2007). From a more fundamental standpoint, most training protocols do not aim at improving a specific stimulus-response mapping, but rather a cognitive function. Future studies should further explore the impact of variations in learning experience in computerized training tasks on transfer effects.

3.6 References

- Ahissar, M., & Hochstein, S. (2004). The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(10), 457-464.
- Balwin, T. T. (1992). Effects of alternative modeling strategies on outcomes of interpersonal-skills training. *Journal of Applied Psychology*, 77(2), 147-154.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Becic, E. (2005). Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychology and Aging*, 20(4), 695-709.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Becic, E. (2008). Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Experimental Aging Research*, 34(3), 188-219.
- Bier, B., de Boysson, C., & Belleville, S. (2014). Identifying training modalities to improve multitasking in older adults. *Age*, 36(4), 9688.
- Boot, W. R., Basak, C., Erickson, K. I., Neider, M., Simons, D. J., Fabiani, M., . . . Kramer, A. F. (2010). Transfer of skill engendered by complex task training under conditions of variable priority. *Acta Psychologica*, 135(3), 349-357.
- Brehmer, Y., Westerberg, H., & Backman, L. (2012). Working-memory training in younger and older adults: training gains, transfer, and maintenance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 63.
- Cassavaugh, N. D., & Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics*, 40(5), 943-952.
- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Backman, L., & Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, 320(5882), 1510-1512.
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). *The Delis-Kaplan Executive Function System: Technical Manual*. San Antonio: The Psychological Corporation.

- Della Sala, S., Baddeley, A., Papagno, C., & Spinnler, H. (1995). Dual-task paradigm: a means to examine the central executive. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 161-171.
- Donchin, E. (1989). The learning strategies project: Introductory remarks. *Acta Psychologica*. Special Issue: The Learning Strategies Program: An Examination of the Strategies in Skill Acquisition, 71(1-3), 1-15.
- 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.
- Geusgens, C. A., Winkens, I., van Heugten, C. M., Jolles, J., & van den Heuvel, W. J. (2007). Occurrence and measurement of transfer in cognitive rehabilitation: A critical review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 39(6), 425-439.
- Gopher, D. (2007). Emphasis Change as a Training Protocol for High-Demand Tasks. In A. F. Kramer, D. A. Wiegmann & A. Kirlik (Eds.), *Attention: from theory to practice* (pp. 209-224). New York: Oxford University Press.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychology and Aging*, 23(4), 692-701.
- Karbach, J., Mang, S., & Kray, J. (2010). Transfer of task-switching training in older age: the role of verbal processes. *Psychol Aging*, 25(3), 677-683.
- Karbach, J., & Schubert, T. (2013). Training-induced cognitive and neural plasticity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 48.
- Karbach, J., & Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: a meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychol Sci*, 25(11), 2027-2037.
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends Cogn Sci*, 14(7), 317-324.
- Kramer, A. F., Larish, J. F., & Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1, 50-76.
- Kramer, A. F., Larish, J. L., Weber, T. A., & Bardell, L. (1999). Training for executive control. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance*

XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application (pp. 617– 652). Cambridge: MA: MIT Press.

- Kueider, A. M., Parisi, J. M., Gross, A. L., & Rebok, G. W. (2012). Computerized cognitive training with older adults: a systematic review. *PLoS One*, 7(7), e40588.
- Lampit, A., Hallock, H., & Valenzuela, M. (2014). Computerized cognitive training in cognitively healthy older adults: a systematic review and meta-analysis of effect modifiers. *PLoS Medicine*, 11(11), e1001756.
- Lee, H., Boot, W. R., Basak, C., Voss, M. W., Prakash, R. S., Neider, M., . . . Kramer, A. F. (2012). Performance gains from directed training do not transfer to untrained tasks. *Acta Psychologica*, 139(1), 146-158.
- Lezak, M. D., & Lezak, M. D. (2012). *Neuropsychological Assessment* (5th ed.). New York: Oxford University Press.
- Li, K. Z., Roudaia, E., Lussier, M., Bherer, L., Leroux, A., & McKinley, P. A. (2010). Benefits of cognitive dual-task training on balance performance in healthy older adults. *Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences*, 65(12), 1344-1352.
- Lindenberger, U. (2014). Human cognitive aging: corriger la fortune? *Science*, 346(6209), 572-578.
- Lovden, M., Backman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., & Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin*, 136(4), 659-676.
- Lussier, M., Gagnon, C., & Bherer, L. (2012). An investigation of response and stimulus modality transfer effects after dual-task training in younger and older. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 129.
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychol Rev*, 19(4), 504-522.
- Melby-Lervag, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270-291.
- Noack, H., Lovden, M., & Schmiedek, F. (2014). On the validity and generality of transfer effects in cognitive training research. *Psychological Research*.

- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196.
- Richmond, L. L., Morrison, A. B., Chein, J. M., & Olson, I. R. (2011). Working memory training and transfer in older adults. *Psychology and Aging*, 26(4), 813-822.
- Rogers, R. D., Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207-231.
- Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New Conceptualizations of Practice: Common Principles in Three Paradigms Suggest New Concepts for Training. *Psychological Science*, 3(4), 207-217.
- Schumacher, E. H., Seymour, T. L., Glass, J. M., Fencsik, D. E., Lauber, E. J., Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance: uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychological Science*, 12(2), 101-108.
- Silsupadol, P., Lugade, V., Shumway-Cook, A., van Donkelaar, P., Chou, L. S., Mayr, U., & Woollacott, M. H. (2009). Training-related changes in dual-task walking performance of elderly persons with balance impairment: a double-blind, randomized controlled trial. *Gait Posture*, 29(4), 634-639.
- Willis, S. L., & Schaie, K. W. (2009). Cognitive training and plasticity: theoretical perspective and methodological consequences. *Restorative neurology and neuroscience*, 27(5), 375-389.
- Yesavage, J. A. (1988). Geriatric Depression Scale. *Psychopharmacological Bulletin*, 24(4), 709-711.
- Zelinski, E. M. (2009). Restorative neurology and neuroscience. *Restorative neurology and neuroscience*, 27(5), 455-471.

Table 3.1 Baseline demographic and neuropsychological data

Demographics	Fixed priority training n=18	Variable priority training n=27	Placebo cognitive stimulation n=38
Age	61.1 ± 2.7	62.4 ± 2.2	61.2 ± 2.3
Education (yrs)	15.3 ± 2.4	15.4 ± 3.0	15.2 ± 2.4
Gender, <i>F(M)</i>	13(5)	19(8)	25(13)
Body Mass Index	24.2 ± 3.2	24.72 ± 3.1	24.2 ± 3.3
Geriatric Depression Scale	4.9 ± 3.3	3.1 ± 3.4	3.3 ± 3.4
Cognitive screening			
MMSE (score)	29.3 ± 0.8	28.9 ± 1.0	29.1 ± 0.9
Digit Span (score)	17.7 ± 4.7	16.6 ± 4.7	17.1 ± 4.4
Similarities (score)	23.1 ± 4.4	23.4 ± 4.8	22.0 ± 4.1
Symbol (score)	69.7 ± 13.8	69.3 ± 12.1	69.5 ± 11.8
Rey word Recall (total)	52.4 ± 10.9	52.1 ± 6.6	54.6 ± 8.5
Mill Hill (score)	27.9 ± 3.0	27.0 ± 4.9	27.4 ± 2.8
X-O comparison (score)	26.2 ± 5.0	26.0 ± 6.2	27.0 ± 5.2
Mill Hill (score)	27.9 ± 3.0	27.0 ± 4.9	27.4 ± 2.8
Stroop inhibition (s)	112.5 ± 31.0	104.4 ± 17.5	112.3 ± 26.8
Stroop switching (s)	134.94 ± 34.4	125.9 ± 21.9	131.5 ± 33.3
Number-letter switching (ratio)	11.6 ± 7.1	11.5 ± 5.2	14.9 ± 9.0
Baddeley index (ratio)	88.94 ± 8.4	90.8 ± 8.7	91.0 ± 9.8

Note: All data are presented: Mean \pm standard deviation

3.7 Figure captions

Figure 3.1 Comparison of participants' mean reaction time, based on priorities instructions, on dual-mixed trials during the variable priority training. Bars represent standard error.

Figure 3.2 Mean reaction time and costs on the five sessions of training for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT). Bars represent standard error.

Figure 3.3 - Mean costs on the near modality transfer task (visual) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation. Bars represent standard error.

Figure 3.4 Mean costs on the far modality transfer task (auditory) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation. Bars represent standard error.

Figure 3.1 Comparison of participants' mean reaction time, based on priorities instructions, on dual-mixed trials during the variable priority training. Bars represent standard error.

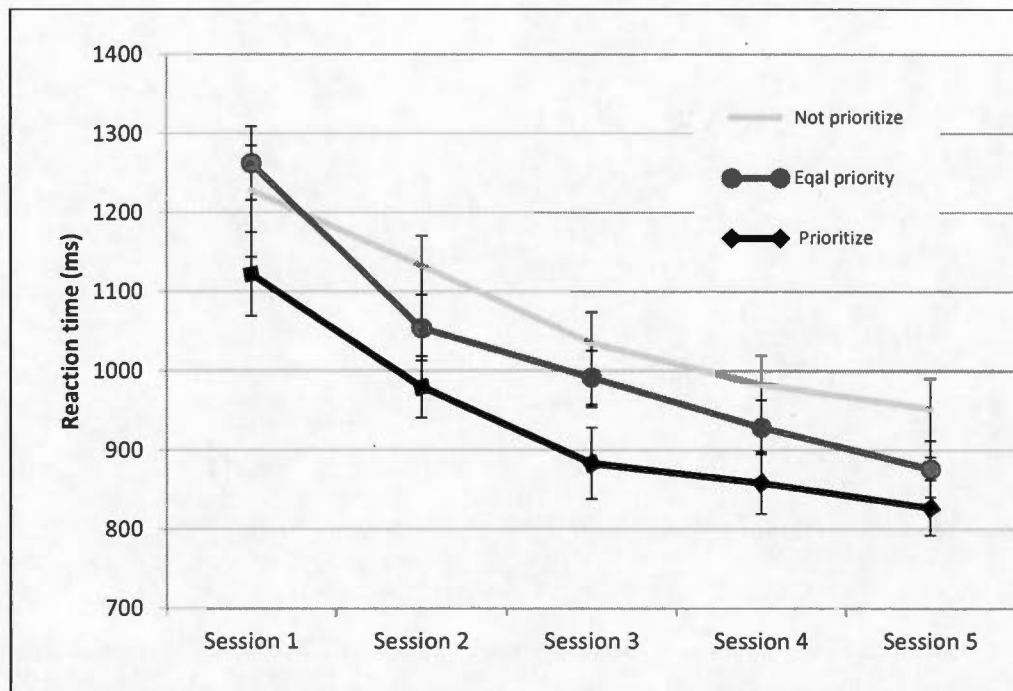


Figure 3.2 Mean reaction time and costs on the five sessions of training for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT). Bars represent standard error.

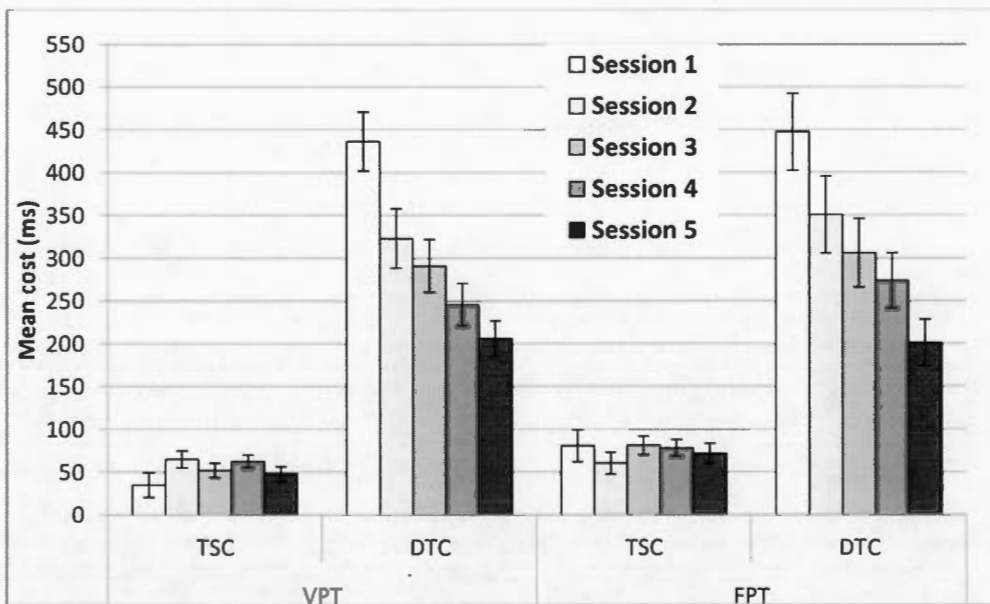
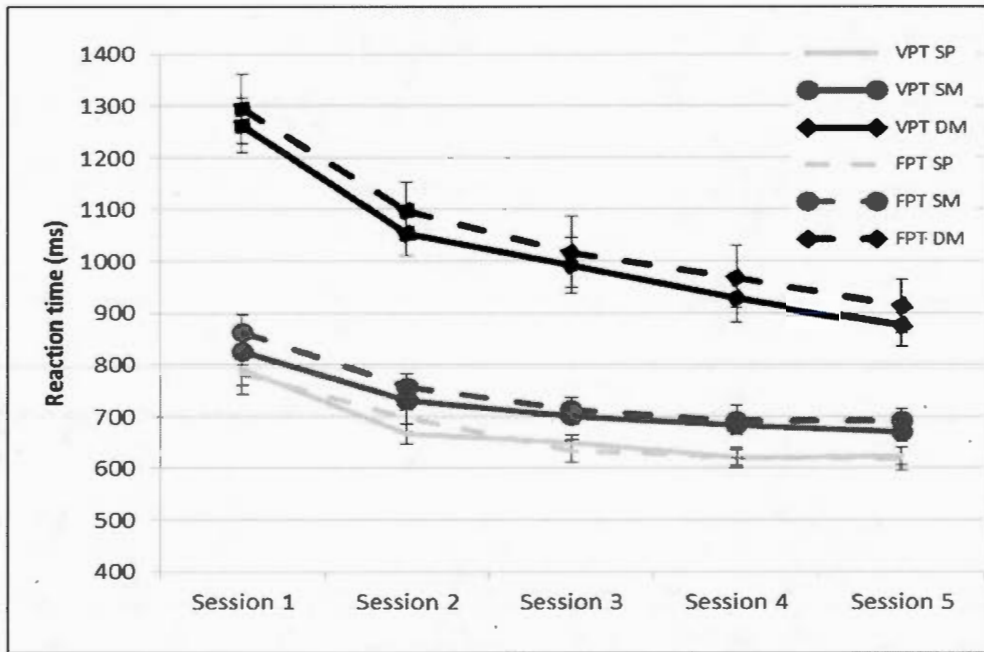


Figure 3.3 Mean costs on the near modality transfer task (visual) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation. Bars represent standard error.

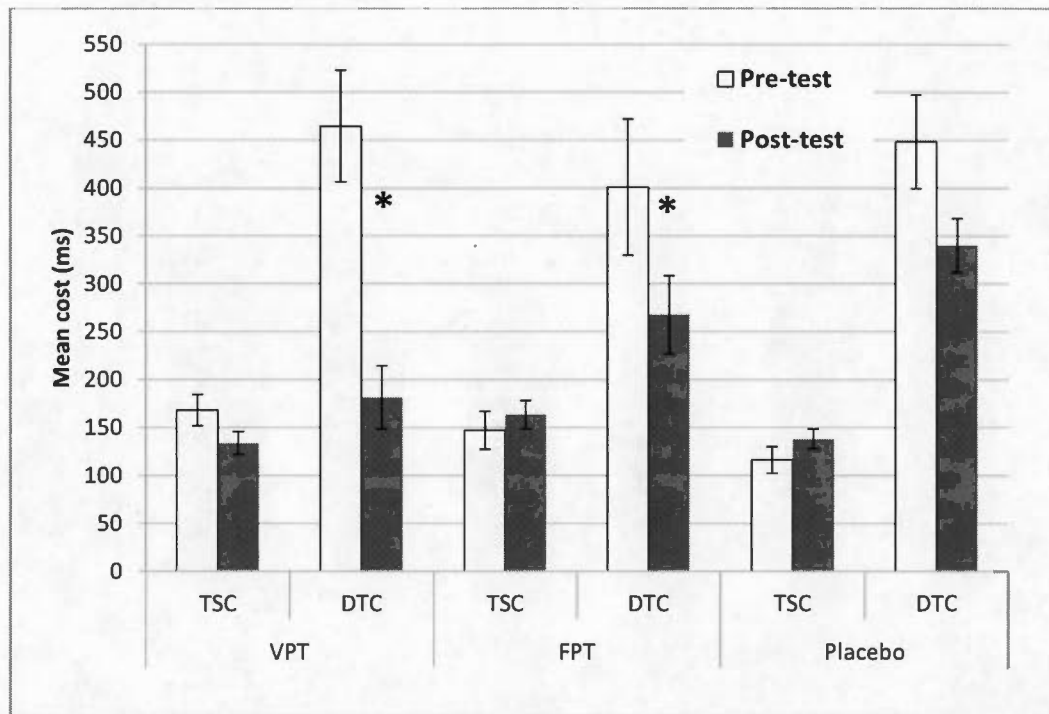
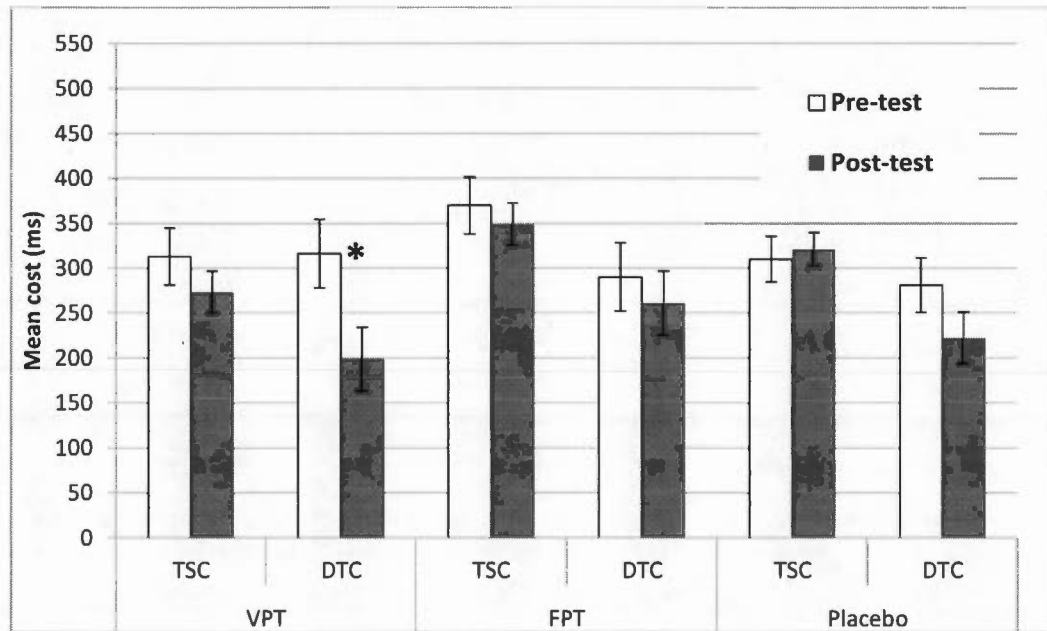


Figure 3.4 Mean costs on the far modality transfer task (auditory) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation. Bars represent standard error.



CHAPITRE IV

ARTICLE 3 - *BENEFITS OF HETEROGENEOUS DUAL-TASK TRAINING ON TRANSFER EFFECTS IN OLDER ADULTS*

Référence : Lussier, M., Brouillard, P., Bherer, L. (2015, soumis). Benefits of heterogeneous dual-task training on transfer effects in older adults. Soumis à *Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences*.

Running head: BENEFITS OF HETEROGENEOUS TRAINING ON TRANSFER

Heterogeneous dual-task training and near-instant manifestation through time of
transfer effects in older adults

Maxime Lussier ^{1,2}

Philippe Brouillard ²

Louis Bherer ^{2,3}

¹Université du Québec à Montréal, Canada

²Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, Canada

³PERFORM Centre, Concordia University, Montréal, Canada

4.1 Abstract

Objectives: It has often been reported that cognitive training has limited transfer effects. The present study addresses training context variability as a factor that could increase transfer effects, as well as the manifestation through time of transfer effects.

Method: Fifty-eight older adults were assigned to an active placebo or two dual-task training conditions, one in which training context varies between sessions (heterogeneous training) or a fixed training context (homogeneous training). Transfer was assessed with near and far modality transfer tasks. Within sessions transfer effects were also analyzed.

Results: Results show that heterogeneous and homogeneous training led to larger near modality transfer effects than an active placebo (computer lessons). Transfer effects were roughly comparable in both training groups, but heterogeneous training did lead to steeper improvement of dual-task coordination learning curve within training sessions. Also, results indicated that dual-task cost did not improve within pre and post-training evaluation sessions.

Discussion: Heterogeneous training showed modest advantages over homogeneous training. Also, results suggest that transfer effects on dual-task cost induced by training take place early on in the post-training session. These findings provide valuable insights on benefits arising from variability in training protocol to maximize transfer effects.

Keywords: Transfer, cognitive training, divided attention, aging,

4.2 Introduction

Several studies have investigated the effectiveness of cognitive training to improve attention and memory in older adults. Process training shows promising transfer effects in older adults, most notably in executive functions trainings such as switching (Karbach & Kray, 2009; Karbach, Mang, & Kray, 2010), updating (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002; S. C. Li et al., 2008; Westerberg & Klingberg, 2007) and divided attention (Bherer et al., 2005, 2008; Kramer, Larish, & Strayer, 1995; Kramer, Larish, Weber, & Bardell, 1999; K. Z. Li et al., 2010; Lussier, Gagnon, & Bherer, 2012). However, other studies suggest that transfer effects can sometimes be limited to near transfer situation. Along with memory difficulties, executive function decline in normal aging is associated with a reduced capacity to accomplish everyday life activities and an increased risk of falling, especially in multi-tasking situations (Bell-McGinty, Podell, Franzen, Baird, & Williams, 2002; Cahn-Weiner, Ready, & Malloy, 2003; Farias, Mungas, Reed, Harvey, & DeCarli, 2009; Fraser & Bherer, 2013; Johnson, Lui, & Yaffe, 2007; Pereira, Yassuda, Oliveira, & Forlenza, 2008). It is thus paramount that cognitive training leads to broad transfer effects and more attention should be directed toward optimization and better understanding of transfer effects following cognitive training.

It has been suggested that variation in learning experience might lead to a more flexible learning that is less dependent on the context in which it was trained (Green & Bavelier, 2008). Geusgens, Winkens, van Heugten, Jolles, & van den Heuvel (2007) recommend that the connection between what is learned and the context in which it is learned should be broken by practicing a skill in as many different situations as possible. It is also believed that individuals tend to focus on surface traits of a problem while neglecting structure traits, which lead to a lack of transfer in real-life situations (Detterman & Sternberg, 1993; Veillard & Coppé, 2009). However, if individuals are encouraged to perform similar tasks in different ways,

they might be able to extract more general learning from their experiences leading to larger transfer effects (Balwin, 1992; Schmidt & Bjork, 1992). New acquired learning would be implicitly solicited to support improvement of the targeted functions instead of shallow task-specific skills. On the other hand, a potential drawback of diversity is that variability in learning experience will result in less extensive learning during the acquisition phase (Green & Bavelier, 2008), perhaps limiting transfer. Training program involving various tasks would therefore require being longer than a fixed context training or else skills acquisition might be compromised. The end benefits however should be that transfer would be more likely to occur, as training gains are less bound to the training context. These remain open issues as variation of training context during cognitive training has not been extensively examined.

The present study aimed at comparing a dual-task training in which context varies through sessions (referred to here as heterogeneous training), to a dual-task training with fixed training context (i.e., homogeneous training) in order to assess the potential benefits of variation within the training program on transfer effects. In order to ensure that each dual-task condition recruited the same cognitive skills that subserve the ability to multi-task, only the nature of stimuli changed for each dual-task conditions. The homogeneous training involved training on only one dual-task condition while the heterogeneous training involved training on three different dual-task conditions over the course of the training program. Given the changing nature of the dual-task conditions, the training program was longer than in previous studies using a similar dual-task training paradigm (Bherer et al., 2005, 2006, 2008; Lussier et al., 2012) and thus the present study also brings additional inputs on the effects of extended training. It was expected that heterogeneous training, through variations of the task-combinations, would lead to an improvement that is less bound to the modality of the stimulus-response mapping, leading to larger transfer effects than homogeneous training.

The present study also investigated the issue of manifestation through time of transfer effects in a novel situation. This issue has never been addressed in the context of computerized cognitive training. On one hand, one might think that transfer effects would take time to manifest so that transfer effect might only be observable after an extended delay following training. Daley (2001) mentions that incorporating new knowledge is a recursive transforming process rather than a simple straightforward transfer. Hence, after a strategy training, prolonged exposition to a novel context is required as trainees need to assess the situation and to consciously recognize how previous learning can benefit the task at hand (Geusgens et al., 2007; Rebok, Carlson, & Langbaum, 2007). On the other hand, one might argue that transfer effects following process training would not need prolonged exposition to be effective. Indeed, process training is generally based on several sessions of practice under retroaction and partially involve implicit learnings. This can be reflected by Alzheimer disease patients being able to learn complex visuomotor skills (Rouleau, Salmon, & Vrbancic, 2002). In that study, patients were even able to generalize their skills to new situations, which supports some level of skills transfer despite episodic memory impairment. Hence, it is plausible that process training, such as dual-task training, would lead to transfer effects rapidly manifesting in new contexts because the newly acquired skill is accessible and does not need to be consciously accessed. In a similar way, individuals can consolidate learning (off-learning) in the absence of further practice as shown by a boost in performance after sleep (Walker & Stickgold, 2005). To assess when transfer takes place as participants are exposed to new dual task conditions, the present study also examined transfer effects occurring within post-training evaluations.

4.3 Method

4.3.1 Participants

Fifty-eight community-dwellers aged 60 years and over were recruited from newspaper ads, the laboratory website, flyers as well as from the study research center's participants' pool. Exclusion criteria were history of neurological condition, a major surgery or general anesthesia in the last 6 months, use of medication known to affect cognition (i.e., antidepressant or anxiolytic), progressive neurological diseases, being a regular smoker, very limited mobility or severe perceptual deficits. Participants selected for the pre-training evaluation were screened for cognitive impairment (excluded if < 24 on the Mini-Mental State Examination (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975)) or depression (excluded if > 20 on the 30-items Geriatric Depression Scale (Yesavage, 1988)). Participants received a financial compensation (10 CAD/ hour for a total of 90 CAD). The study was approved by the Ethic Review Board of the geriatric institution where the study took place and all participants provided written informed consent.

Participants' assignment proceeded by wave randomization. When a group of four to ten eligible participants were recruited, they were randomly assigned to the cognitive training group or to active placebo group according to a block randomization plan generated via a website (www.randomization.com). The type of training (homogeneous vs. heterogeneous) was the same for all participants of a given wave in order to avoid compromising participants' blindness to the existence of another training protocol.

Of the participants who completed the study, 31 were assigned to the active placebo group and 27 to the training group (13 to homogeneous and 14 to heterogeneous training). Table 4.1 presents participants' characteristics. ANOVAs were performed

on demographic and neuropsychological data to ensure the three groups were comparable on age, gender, school years, depression scale and cognitive abilities prior to training. The neuropsychological assessment involved tests targeting general verbal abilities (Similarities, WAIS-III), processing speed (Digit Symbol, WAIS-III; X-O comparison), episodic memory (Rey Auditory Verbal Learning Test) and executive functions (Baddeley dual-task (Della Sala, Baddeley, Papagno, & Spinnler, 1995), Stroop Color-Word Interference Test - Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS) (Delis, Kaplan, & Kramer, 2001), Trail Making Test (Reitan, 1958)). There were no group difference in demographics or neuropsychological data, except for Digit Symbol score, $F(2, 55) = 3.86, p < .05$. A post-hoc analysis (Tukey HDS) revealed that the active placebo group was faster than the other groups.

INSERT TABLE 4.1 ABOUT HERE

4.3.2 Apparatus

Participants performed the dual-task paradigm in a dedicated computer room using a PC Pentium 4 with a 19" flat screen in a cubicle. The dual-task paradigm involved performing two discrimination tasks alone or concurrently. For each condition, task instructions appeared on the screen prior to each novel task step. Participants initiated each block by pressing the spacebar and in each trial, stimuli remained on the screen until participants responded, after which the subsequent trial appeared after a short variable interval of 850 to 2850ms. Visual stimuli appeared in white on the middle of a black screen at a viewing distance of approximately 45 cm. At this distance, stimuli subtended a vertical and a horizontal visual angle of 3.17° . The stimuli remained on the screen until the participant provided a response. Participants were asked to respond as quickly and as accurately as possible. Participants responded a standard QWERTY keyboard with their index, middle and ring fingers using their left or right

hand depending on the task. For each task, a legend was provided on the left and right buttons on the screen as a reminder of stimulus-key association. Accuracy feedback was provided. When a wrong answer was produced, participants heard a buzzer sound and the legend associated with the erroneous answer appeared in red on the bottom of the screen.

All dual-task conditions involved three block types. In pure blocks, participants responded to only one task at a time in simple-pure (SP) trials. In mixed-blocks, participants completed simple-mixed (SM) trials in which stimuli of only one of the two tasks are presented at once. In dual-mixed blocks, participants performed dual-mixed (DM) trials in which both tasks appeared concurrently. In those blocks, both tasks were totally independent since answering to a stimulus of one task triggered the apparition of the next stimuli for that specific task. Comparing performances in the three types of trials provides important insight on how concurrent tasks can be performed. In fact, SP and SM trials of a given task require similar responses, but performed in different contexts and thus the difference in reaction time (RT) between SP and SM trials provides a task-set cost assumed to reflect the ability to maintain different response alternatives in memory and to prepare to answer to multiple tasks. A second performance, the dual-task cost, can be computed by comparing RTs in SM trials from those in DM trials, both performed in the same context with concurrent tasks, but where only DM trials actually require to provide two responses at the same time. Dual-task cost is thought to reflect the cost due to the synchronization of two concurrent tasks, by minimizing the effects of response preparation (Bherer et al., 2005; Schumacher et al., 2001).

4.3.3 Program schedule

The research protocol was completed within a 13 to 14-weeks period and was divided in three phases: pre-training evaluation, training, and post-training evaluation. Pre-training evaluation included neuropsychological assessment and computerized cognitive testing. Students trained in neuropsychology who were blind to the intervention assignment administered all the evaluations. After, participants were assigned to the training or active placebo groups. Over a period of 12 weeks, both groups completed twelve 1-h sessions in a room containing 10 computer stations. A psychology student supervised each session. Participant needed to attend a minimum of 10 sessions out of 12 to be included in the analysis (83% participation). As for the post-training evaluation, participants completed again the computerized cognitive testing within a week following the last training session.

INSERT TABLE 4.2 ABOUT HERE

4.3.4 Computer training interventions

4.3.4.1 Training condition.

Training sessions took place in groups of 4 to 10 participants. Participants in the homogeneous training group had to perform a number discrimination tasks (3, 5 or 8), and a shape discrimination task (circle, square or diamond), both separately and concurrently, during all 12 training sessions [referred as Dual-task A]. Participants in the heterogeneous training group also performed this dual-task condition, but only on the first, tenth, eleventh and twelfth sessions. On sessions 2 to 5, they performed a dice discrimination task (2, 3 or 6 dots) and proportion discrimination task ($1/3$, $2/3$ or $3/3$ of a circle presented) [referred as Dual-task B]. On the 6 to 10 training

sessions, they performed a color discrimination task (blue, yellow or red) and heavenly bodies discrimination task (star, sun or moon) [referred as Dual-task C]. Task instructions were administered by a trained student who did not participate in the pre or the post-training evaluations. Within each training session, a participant responded to 144 SP, 480 SM and 1080 DM trials (1728 SP, 5760 SM, 12960 DM in total through the twelve sessions of training). Importantly, an adaptive continuous feedback on performance was provided during the DM block of the training sessions. Feedback took the shape of two bars that changed color (green, yellow, or red) to inform participants of their response speed. Each bar was associated to one task. Participants were asked to try to maintain the bars in the green zone and prevent them from turning to red. The color of the bars was determined by the average RT on the last three trials' RT for the DM block compared to the median RT for the SM block multiplied by a factor of 1.5. In addition, a feedback was provided at the end of the session, where participants were informed of mean RT and accuracy achieved throughout the session (presented in a histogram without explicit values).

INSERT FIGURE 4.1 ABOUT HERE

4.3.4.2 Active placebo.

The active placebo group received computer courses. Each session consisted of introductory exercises to computers and different software (e.g., Word, Excel), as well as an initiation to Internet (search engines, websites, games, etc.). Active placebo sessions were held in groups of 4 to 10 participants and took place in the same computer room used for dual-task training sessions and lead by the same instructors.

4.3.5 Transfer conditions

At pre-training and post-training, near and far modality transfer conditions were used. The near modality transfer condition involved two visual tasks and required participants to identify letters (A, B or C) and arrows (left, right or up). The letters A, B or C were answered with the left hand by pressing the letter A, S or D. The far modality transfer condition involved two auditory tasks and consisted of identifying if a tone was heard on the left or right side of the headphone and also identifying if a voice said "GO" or "STOP". Participants were wearing headphones and could adjust volume as needed. Auditory stimuli were heard during 500ms. The transfer conditions were shorter in time: 96 SP, 192 SM and 120 DM trials each. Also, no feedback was provided for speed in transfer conditions.

4.4 Results

Dependent variables of interest were RT (in ms) and accuracy (in %). Incorrect responses were not included in the RT analyses. Trials were also rejected if RT were shorter than 250 ms, longer than 3000 ms for SP and SM trials, or longer than 4000 ms for DM trials (1.0% of total SP trials, 0.4% of total SM trials and 1.4 % of DM trials). Accuracy was calculated as a percentage of correct responses in each condition.

Statistical analyses were performed with SPSS 20 on RT and accuracy using ANOVAs. Significant interactions between factors were decomposed with simple-effects. In the case of a significant interaction with more than two levels of a repeated-factor, repeated-contrasts were used. An effect is reported to be significant according to the adjusted alpha level when required, that is when the Mauchly's test of sphericity was significant (SPSS, 1997). Effect sizes were also reported as eta-

squared (η^2). For each of the three dual-task conditions (training, far and near modality transfer), there was no interaction between improvements on the two tasks performed simultaneously (left and right) and thus performances of the two tasks were pooled for each of the dual-task combinations. There was no group difference in accuracy and it did not vary during training neither did it change in the transfer conditions from pre-training to post-training. Accuracy was arguably high prior to training in the visual dual-task condition (SP: 98%, SM: 98%, DM, 97%) and the auditory dual-task condition (SP: 99%, SM: 96%, DM: 90%) as well as on the first session of training (SP: 96%, SM: 99%, DM, 97%). For this reason, the following analyses report only variations in RT performances.

4.4.1 Training condition

Training analyses sought to compare improvement in both heterogeneous and homogeneous groups. Performances on dual-task combination A were examined since both groups trained on this specific combination. Recall that the heterogeneous training group trained on dual-task combination A on the first session of training and on session 10, 11 and 12. Between session 1 and 10, they trained on two different dual-task combinations (see Table 4.2). The homogeneous training group trained on dual-task combination A extensively during all 12 sessions. Figure 4.1 shows improvement in both training groups as a function of the number of sessions of training on dual-task combination A. An ANOVA was performed with Training Group (homogeneous and heterogeneous trainings) as between-subject factor and Session (first four sessions performing on dual-task combination A) and Trial Type (SP, SM, DM) as within-subject factor. A main effect of Session indicated a significant overall improvement, $F(3, 75) = 42.06$, $p < .001$, $\eta^2 = .63$. Since there was a Training Group X Session X Trial Type interaction, $F(6, 150) = 3.42$, $p < .01$, $\eta^2 = .12$, repeated-contrasts were performed. Reduction of task-set cost was comparable

among the two groups, but the reduction of dual-task cost differed between training groups, $F(1, 25) = 7.44$, $p < .01$, $\eta^2 = .23$, being larger in the heterogeneous group (142 ms), while the homogeneous group showed a slight increase (10 ms). Separated analyses for each session showed that dual-task cost was significantly smaller in the heterogeneous group than in the homogeneous group on the third session (respectively 245ms and 346ms, $F(1, 25) = 4.06$, $p < .05$, $\eta^2 = .14$) and on the fourth session (respectively 231ms and 357ms, $F(1, 25) = 4.87$, $p < .05$, $\eta^2 = .16$). Note that the mean dual-task cost of the heterogeneous training group on their fourth session (231ms) was only surpassed by the homogeneous group on their eleventh session (222ms).

INSERT FIGURE 4.2 ABOUT HERE

4.4.2 Transfer conditions analyses

Separate analyses were performed for near-modality transfer condition (visual) and far-modality transfer condition (auditory). Analyses aimed to determine whether heterogeneous training led to larger transfer effects than homogeneous training and active placebo. Moreover, within-session improvements were examined in order to determine if transfer effect took place between the pre- and post-training sessions or within the post-training session. ANOVAs were performed with Training group (heterogeneous training, homogeneous training, active placebo) as between-subject factor and Session (pre and post-training), Block (first and last block of each session), and Trial Type (SP, SM, DM) as within-subject factor. Note that since only one block of SP trials per hand was performed at each session, the same mean RT was used for the first and the last block.

4.4.3 Near-transfer modality condition

A main effect of Session indicated a significant improvement from pre-test to post-test sessions, $F(1, 55) = 29.33$, $p < .001$, $\eta^2 = .35$. This improvement was characterized by a Training Group X Session X Trial Type interaction, $F(4, 110) = 3.18$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$. Repeated-contrast analyses indicated that task-set cost reduction was comparable among groups, while dual-task cost decrease varied among groups, $F(2, 55) = 4.14$, $p < .05$, $\eta^2 = .13$. Figure 4.2 (top-panel) shows task-set and dual-task costs in the near modality transfer task for each group at pre and post-training sessions. Follow-up analyses showed that dual-task cost significantly decreased in the heterogeneous group (110ms), $F(1, 13) = 9.79$, $p = .01$, $\eta^2 = .43$, but improvement was only marginal in the homogeneous group (90ms), $F(1, 12) = 3.92$, $p < .071$, $\eta^2 = .25$, and not significant in the active placebo group (6ms), $F(1, 30) = 0.64$. With regard to within-session improvement, a main effect of Block indicated a significant within-session improvement, $F(1, 55) = 50.95$, $p < .001$, $\eta^2 = .49$. A Session X Block interaction, $F(1, 55) = 4.66$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$, indicated that improvement was significantly larger within the pre-training session (55ms), $F(1, 55) = 38.99$, $p < .001$, $\eta^2 = .41$, compared to the post-training session (29ms), $F(1, 55) = 17.57$, $p < .001$, $\eta^2 = .25$. Also, within-session improvements were comparable among all three groups, but were not comparable for all three Trial Type as shown by a Block X Trial Type interaction, $F(2, 110) = 18.04$, $p < .001$, $\eta^2 = .25$. Repeated contrasts showed that task-set cost significantly decreased (64 ms) within each of the two sessions (pre and post-training), $F(1, 55) = 46.98$, $p < .001$, $\eta^2 = .46$, while dual-task cost did not significantly change, $F(1, 55) = 0.02$. This shows that, while performance still improved in all three groups from the first to the second half in pre and post-training session, dual-task coordination remained unchanged within sessions.

4.4.4 Far modality transfer condition

One subject was not able to answer correctly to more than 50% of dual-task trials and was thus excluded from analyses. Four subjects were excluded because of hearing impairments (two in heterogeneous, and one in homogeneous and one in placebo groups). Figure 4.2 (bottom-panel) shows task-set and dual-task costs in the far modality transfer task for each group at pre and post-training sessions. Results indicated no main effect of Session nor any interaction between Session and Trial type or Training Group. Concerning, within-session improvements, a main effect of Block indicated a significant improvement within-sessions, $F(1, 51) = 50.54, p < .001, \eta^2 = .49$. A Session X Block interaction, $F(1, 51) = 5.38, p < .05, \eta^2 = .10$, indicated that improvement was significantly larger within the pre-training session (73ms), $F(1, 51) = 42.69, p < .001, \eta^2 = .46$, compared to the post-training session (59ms), $F(1, 51) = 14.61, p < .001, \eta^2 = .22$. Again, within-session improvements at pre-test and post-test were comparable among all three groups, but were not comparable for all three trial types as shown by a Block X Trial Type interaction, $F(2, 102) = 12.00, p < .001, \eta^2 = .19$. Repeated contrasts showed that task-task cost significantly decreased (90 ms) within each of the two sessions (pre and post-training), $F(1, 51) = 36.32, p < .001, \eta^2 = .42$, while dual-task cost did not significantly change, $F(1, 51) = 0.13$.

4.5 Discussion

Variability of the training context has been put forward as a factor that could enhance transfer effect by allowing more context-free learning (Geusgens et al., 2007; Green & Bavelier, 2008; Morrison & Chein, 2011). In line with others studies investigating characteristics that make a cognitive training more effective (Brehmer, Westerberg, & Backman, 2012; Green & Bavelier, 2008; Kueider, Parisi, Gross, & Rebok, 2012; Richmond, Morrison, Chein, & Olson, 2011), the present study was designed to

examine whether dual-task training with a variable training context (i.e., heterogeneous training) would lead to more transfer effects in older adults than fixed training context (i.e., homogeneous training) and compared to an active non-training condition. Results showed that both heterogeneous and homogeneous trainings led to a greater improvement in the ability to coordinate multiple response-stimulus alternatives, indexed by dual-task cost, than an active placebo intervention in a near modality transfer task. Note, however, that only the heterogeneous training group showed significant in multi-task coordination. Interestingly, the heterogeneous training impacted improvement during training sessions. Indeed, for an equivalent amount of training sessions with a specific dual-task, the heterogeneous training group showed steeper improvement than the homogeneous training group. It is likely that the heterogeneous training group was able to benefit from exposition to other various dual-task combinations of the same modality. This suggests that adaptive learning took place supporting the notion that heterogeneous training better facilitate transfer effects. Overall, results show some slight advantages and no disadvantage for heterogeneous training over homogeneous training. The present study also examined whether transfer effects would manifest early on in the post-training sessions. Results showed that transfer effects did not interact with block effect, that is the improvement from the first half to the second half of the session. The within-session improvement observed is more likely to be associated with familiarization to the task or task preparation since within-session improvement was larger at pre-training and not related to dual-task coordination or training conditions. Also, considering that dual-task cost did not improve within pre and post-training sessions and that transfer effects were specific to dual-task cost, results suggest that transfer effects on dual-task cost induced by training takes place early on in the post-training session. To our knowledge, this is the first study to report within-session improvement in transfer tasks after a cognitive training. It has been suggested that transfer effect requires several expositions to the novel context as individuals need to recognize the similarities between the training and the transfer task in order to benefit from transfer

effects (Daley, 2001; Geusgens et al., 2007; Rebok et al., 2007). However, results of the present study suggest that to some extent dual-task training leads to immediate improvement, while further enhancement can also take place after successive exposure. While dual-task training can also involve explicit strategies (e.g., consciously distributing different amount of attention on the two tasks), it still largely relies on learning implicit executive control skills through extended training (Lustig, Shah, Seidler, & Reuter-Lorenz, 2009). As such, process trainings, such as the dual-task training, might allow for rapid manifestation of transfer effects without the need for prolonged exposition to novel tasks. Those results suggest that research protocols are justified to evaluate dual-task cost with only short evaluation tasks since dual-task coordination did not significantly improved within evaluation session tasks.

The original contribution of the present study is to shed light on benefits of heterogeneous training on transfer effects in older adults. Within-session improvement was also addressed in the analyses. Interestingly, heterogeneous training could be used to improve motivation and retention of participants through less repetitive training designs (Green & Bavelier, 2008; Vygotsky, 1978). Indeed, heterogeneous training might present a good opportunity to give some control to the participants over their training as they could freely change the stimuli presented if they feel compelled to break the routine. It would be interesting to study participants who have been allowed to vary their experience without altering the core structure of the dual-task training as it has been shown that motivation in trainees can be increased if they are invited to self-regulated some aspects of the training (Merriam & Leahy, 2005; Salas, Tannenbaum, Kraiger, & Smith-Jentsch, 2012).

To conclude, results of the present study suggest that dual-task training can help improve the ability to coordinate the execution of multiple psychomotor tasks, and that variability in training context can help enhance near transfer effects in older

adults. Further studies are required to extend this finding to broader transfer conditions and to investigate whether more frequent variation of training context (e.g., training on three different tasks within each session) could help further enhance transfer. Another potential future avenue of investigation would be to investigate if greater variation in training context beyond the laboratory context, using more ecological condition such as walking while performing a cognitive task for instance, also favors broader transfer effects.

4.6 References

- Ball, K., & Wahl, H. (2002). Driving in old age: use of technology to promote independence. *Gerontechnology*, 1(4), 217-219.
- Balwin, T. T. (1992). Effects of alternative modeling strategies on outcomes of interpersonal-skills training. *Journal of applied psychology*, 77(2), 147-154.
- Bell-McGinty, S., Podell, K., Franzen, M., Baird, A. D., & Williams, M. J. (2002). Standard measures of executive function in predicting instrumental activities of daily living in older adults. *Int J Geriatr Psychiatry*, 17(9), 828-834.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Becic, E. (2005). Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychol Aging*, 20(4), 695-709.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Becic, E. (2006). Testing the limits of cognitive plasticity in older adults: application to attentional control. *Acta Psychol (Amst)*, 123(3), 261-278.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Becic, E. (2008). Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Exp Aging Res*, 34(3), 188-219.
- Brehmer, Y., Westerberg, H., & Backman, L. (2012). Working-memory training in younger and older adults: training gains, transfer, and maintenance. *Front Hum Neurosci*, 6, 63.
- Cahn-Weiner, D. A., Ready, R. E., & Malloy, P. F. (2003). Neuropsychological predictors of everyday memory and everyday functioning in patients with mild Alzheimer's disease. *J Geriatr Psychiatry Neurol*, 16(2), 84-89.
- Daley, B. J. (2001). Learning and professional practice: A study of four professions. *Adult education Quarterly*, 52, 39-54.
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). *The Delis-Kaplan Executive Function System: Technical Manual*. San Antonio: The Psychological Corporation.

- Della Sala, S., Baddeley, A., Papagno, C., & Spinnler, H. (1995). Dual-task paradigm: a means to examine the central executive. *Ann N Y Acad Sci*, 769, 161-171.
- Detterman, D. K., & Sternberg, R. J. (1993). *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction*. Westport, CT: Ablex Publishing.
- Farias, S. T., Mungas, D., Reed, B. R., Harvey, D., & DeCarli, C. (2009). Progression of mild cognitive impairment to dementia in clinic- vs community-based cohorts. *Arch Neurol*, 66(9), 1151-1157.
- Faucounau, V., Wu, Y. H., Boulay, M., De Rotrou, J., & Rigaud, A. S. (2010). Cognitive intervention programmes on patients affected by Mild Cognitive Impairment: a promising intervention tool for MCI? *J Nutr Health Aging*, 14(1), 31-35.
- 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. *J Psychiatr Res*, 12(3), 189-198.
- Fraser, S., & Bherer, L. (2013). Age-related decline in divided-attention: from theoretical lab research to practical real-life situations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 4(6), 623-640.
- Geusgens, C. A., Winkens, I., van Heugten, C. M., Jolles, J., & van den Heuvel, W. J. (2007). Occurrence and measurement of transfer in cognitive rehabilitation: A critical review. *J Rehabil Med*, 39(6), 425-439.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychol Aging*, 23(4), 692-701.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Dev Sci*, 12(4), F9-15.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 105(19), 6829-6833.
- Johnson, J. K., Lui, L. Y., & Yaffe, K. (2007). Executive function, more than global cognition, predicts functional decline and mortality in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 62(10), 1134-1141.

- Jones, S., Nyberg, L., Sandblom, J., Stigsdotter Neely, A., Ingvar, M., Magnus Petersson, K., & Backman, L. (2006). Cognitive and neural plasticity in aging: general and task-specific limitations. *Neurosci Biobehav Rev*, 30(6), 864-871.
- Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Dev Sci*, 12(6), 978-990.
- Karbach, J., Mang, S., & Kray, J. (2010). Transfer of task-switching training in older age: the role of verbal processes. *Psychol Aging*, 25(3), 677-683.
- Keith, N., Richter, T., & Naumann, J. (2010). Active/Exploratory training promotes transfer even in learners low motivation and cognitive ability. *Applied Psychology: An International Review*, 59(1), 97-123.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., . . . Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD--a randomized, controlled trial. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 44(2), 177-186.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *J Clin Exp Neuropsychol*, 24(6), 781-791.
- Kramer, A. F., Larish, J. F., & Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1, 50-76.
- Kramer, A. F., Larish, J. L., Weber, T. A., & Bardell, L. (1999). Training for executive control. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 617-652). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kueider, A. M., Parisi, J. M., Gross, A. L., & Rebok, G. W. (2012). Computerized cognitive training with older adults: a systematic review. *PLoS One*, 7(7), e40588.
- Li, K. Z., Roudaia, E., Lussier, M., Bherer, L., Leroux, A., & McKinley, P. A. (2010). Benefits of cognitive dual-task training on balance performance in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 65(12), 1344-1352.
- Li, S. C., Schmiedek, F., Huxhold, O., Rocke, C., Smith, J., & Lindenberger, U. (2008). Working memory plasticity in old age: practice gain, transfer, and maintenance. *Psychol Aging*, 23(4), 731-742.

- Lussier, M., Gagnon, C., & Bherer, L. (2012). An investigation of response and stimulus modality transfer effects after dual-task training in younger and older. *Front Hum Neurosci*, 6, 129.
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychol Rev*, 19(4), 504-522.
- Merriam, S. B., & Leahy, B. (2005). Learning transfer: A review of the research in adult education and training. *PAACE Journal of Lifelong Learning*, 14, 1-24.
- 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. *Cogn Psychol*, 41(1), 49-100.
- Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychon Bull Rev*, 18(1), 46-60.
- Pereira, F. S., Yassuda, M. S., Oliveira, A. M., & Forlenza, O. V. (2008). Executive dysfunction correlates with impaired functional status in older adults with varying degrees of cognitive impairment. *Int Psychogeriatr*, 20(6), 1104-1115.
- Rebok, G. W., Carlson, M. C., & Langbaum, J. B. (2007). Training and maintaining memory abilities in healthy older adults: traditional and novel approaches. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 62 Spec No 1, 53-61.
- Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making test as an indicator of organic brain damage. *Percept Mot Skills*, 8, 271-276.
- Richmond, L. L., Morrison, A. B., Chein, J. M., & Olson, I. R. (2011). Working memory training and transfer in older adults. *Psychol Aging*, 26(4), 813-822.
- Rouleau, I., Salmon, D. P., & Vrbancic, M. (2002). Learning, retention and generalization of a mirror tracing skill in Alzheimer's disease. *J Clin Exp Neuropsychol*, 24(2), 239-250.
- Saczynski, J. S., Willis, S. L., & Schaie, K. W. (2002). Strategy use in reasoning training with older adults. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 9(1), 48-60.

- Salas, E., Tannenbaum, S. I., Kraiger, K., & Smith-Jentsch, A. F. (2012). The science of training and development in organizations: what matters in practice. *Psychological Science in the Public Interest*, 13(2), 74-101.
- Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *J Exp Psychol Gen*, 132(4), 566-594.
- Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New Conceptualizations of Practice: Common Principles in Three Paradigms Suggest New Concepts for Training. *Psychol Sci*, 3(4), 207-217.
- Schmiedek, F., Lovden, M., & Lindenberger, U. (2014). Younger adults show long-term effects of cognitive training on broad cognitive abilities over 2 years. *Dev Psychol*, 50(9), 2304-2310.
- Schumacher, E. H., Seymour, T. L., Glass, J. M., Fencsik, D. E., Lauber, E. J., Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance: uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychol Sci*, 12(2), 101-108.
- 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 Aging Study (BASE). *Psychol Aging*, 18(2), 318-331.
- Veillard, L., & Coppé, S. (2009). Mobilisation de connaissances antérieures en formation professionnelle par alternance : perspectives apportées par une approche comparatiste. *Education et didactique*, 3(2), 47-80.
- Verhaeghen, P. (2011). Aging and Executive Control: Reports of a Demise Greatly Exaggerated. *Curr Dir Psychol Sci*, 20(3), 174-180.
- Verhaeghen, P., & Marcoen, A. (1996). On the mechanisms of plasticity in young and older adults after instruction in the method of loci: evidence for an amplification model. *Psychol Aging*, 11(1), 164-178.
- Vygotsky, L. (1978). *Interaction between learning and development*. (pp. 79-91). Cambridge: Harvard University Press.
- Walker, M. P., & Stickgold, R. (2005). It's practice, with sleep, that makes perfect: implications of sleep-dependent learning and plasticity for skill performance. *Clin Sports Med*, 24(2), 301-317, ix.

- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychol Bull*, 120(2), 272-292.
- Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory--a single-subject analysis. *Physiol Behav*, 92(1-2), 186-192.
- Yesavage, J. A. (1988). Geriatric Depression Scale. *Psychopharmacol Bull*, 24(4), 709-711.

Table 4.2 Baseline demographic and neuropsychological data

	Heterogeneous training		Homogeneous training		Active placebo	
	n=14 m	SD	n=13 m	SD	n=31 m	SD
Demographics						
Age	73.5	6.54	73.92	6.23	70.42	6.15
Education (yrs)	14.14	4.29	14.85	3.77	15.9	2.62
Gender, <i>F(M)</i>	12(2)		8(5)		22(9)	
Geriatric Depression Scale	4.79	3.95	3.42	3.20	4.74	4.78
Cognitive screening						
MMSE (score)	29.43	.94	29.0	.91	28.68	1.25
Digit Span (score)	16.85	4.49	15.76	3.63	16.13	3.31
Similarities (score)	21.50	4.88	24.23	4.26	22.68	4.77
Symbol (score)	50.98	15.64	57.46	9.91	62.42	15.47
Rey word Recall (total)	54.42	11.22	49.15	8.34	52.90	8.83
Stroop inhibition (s)	66.57	23.26	60.84	11.72	63.15	19.21
Stroop switching (s)	66.07	23.57	73.23	23.13	58.43	14.60
Trail B / Trail A switching (ratio)	1.41	.70	1.21	1.03	1.39	.60
Baddeley index (ratio)	46.88	6.24	42.87	16.92	44.50	7.45

Note: m = mean, SD = standard deviation

Table 4.3 Program schedule for each group of participants.

Pre-training evaluation	Twelve sessions – 1/week												Post-training evaluation
Visual transfer and auditory dual-tasks conditions	Heterogeneous training												Visual transfer and auditory dual-tasks conditions
	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	Dual-task A	
Visual transfer and auditory dual-tasks conditions	Homogeneous training												Visual transfer and auditory dual-tasks conditions
	Dual-task A	Dual-task B	Dual-task B	Dual-task B	Dual-task C	Dual-task C	Dual-task C	Dual-task C	Dual-task C	Dual-task C	Dual-task C	Dual-task C	
Active placebo	Educative course on computer usage and Internet												Dual-task A

4.7 Figure captions

Figure 4.1 Mean costs on the far modality transfer task (auditory) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation.

Figure 4.2 Mean task-set cost and dual-task cost on the near modality transfer task (visual- Top Panel) and far modality transfer task (auditory- Bottom panel) for homogeneous training, heterogeneous training, and active placebo groups. TSC: task-set cost, DTC: Dual-task cost

Figure 4.5 Mean costs on the far modality transfer task (auditory) for variable priority training (VPT) and fixed priority training (FPT) and placebo cognitive stimulation.

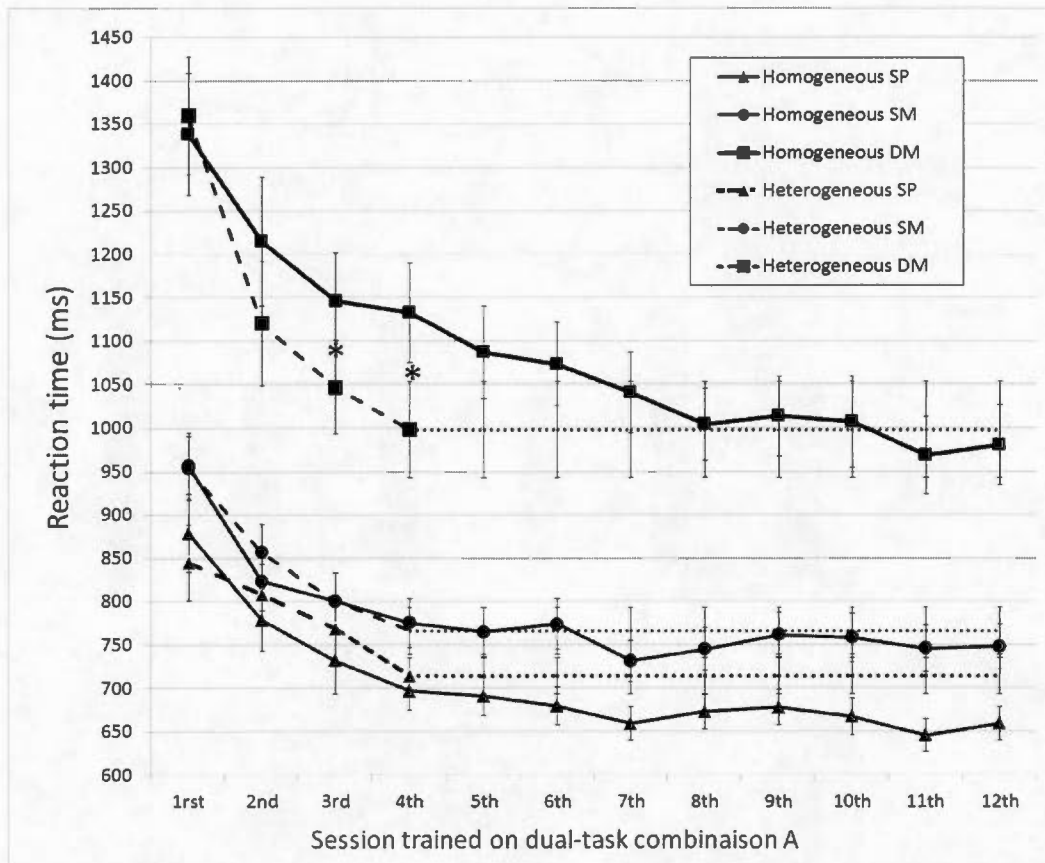
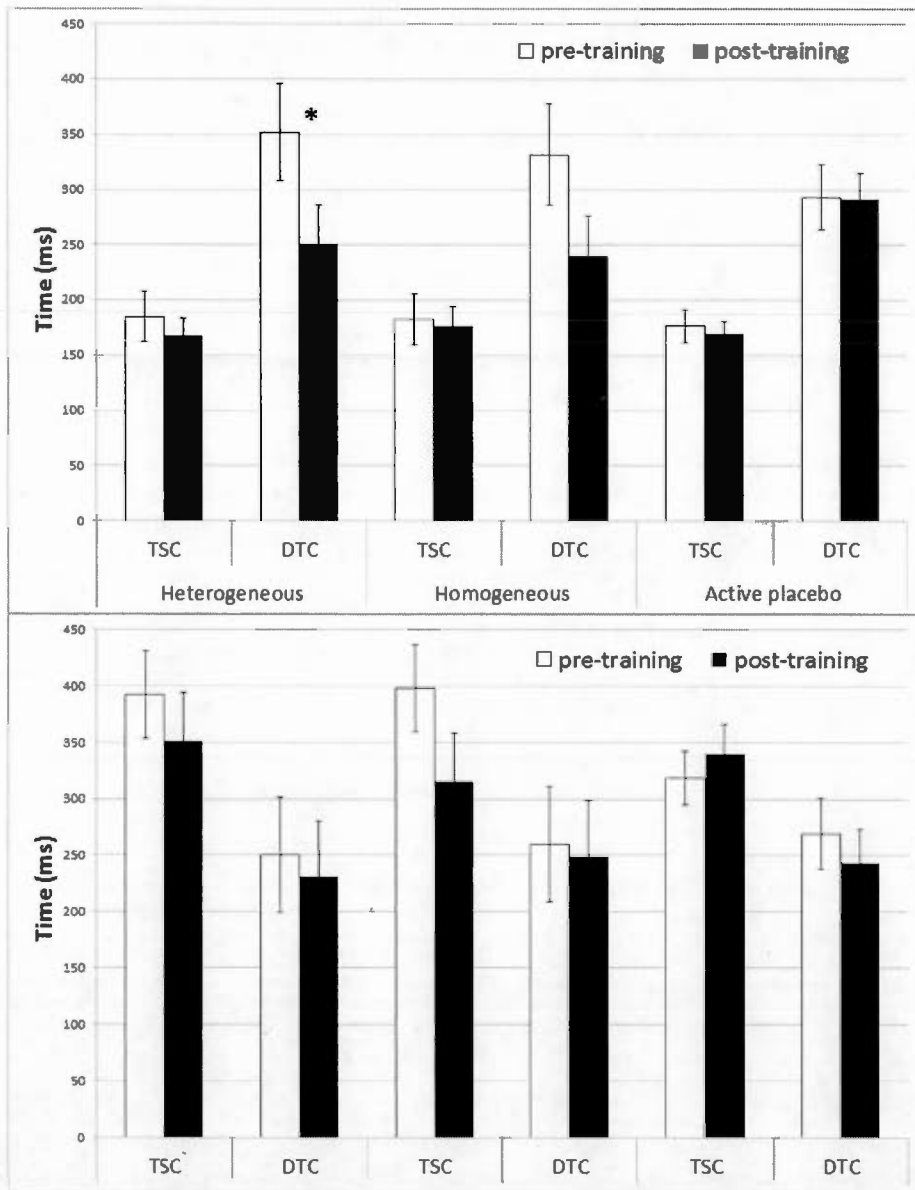


Figure 4.6 Mean task-set cost and dual-task cost on the near modality transfer task (visual- Top Panel) and far modality transfer task (auditory- Bottom panel) for homogeneous training, heterogeneous training, and active placebo groups. TSC: task-set cost, DTC: Dual-task cost



CHAPITRE V DISCUSSION GÉNÉRALE

Dans la discussion, pour chacune des problématiques abordées dans la thèse, nous ferons une brève synthèse des résultats obtenus et de l'interprétation de ceux-ci, nous considérerons les limitations des études associées et nous aborderons les implications des résultats ainsi que les perspectives futures qu'elles soulèvent.

5.1 L'étendue du transfert

La première problématique explorée dans cette thèse était celle de l'étendue du transfert modal suite à un entraînement de l'attention divisée. Les résultats de cette étude ont été publiés dans un article intitulé «*An investigation of response and stimulus modality transfer effects after dual-task training in younger and older*» (Chapitre II). Dans le cadre de cet article, le transfert modal distal suite à un entraînement de l'attention divisée a été mesuré de façon systématique chez des jeunes de 30 ans et moins et des aînés de 60 ans et plus. Pour chaque groupe d'âge, environ la moitié des participants ont reçu cinq séances d'une heure d'entraînement en double-tâche. L'autre moitié des participants n'ont reçu aucune intervention spécifique. Le premier objectif de cette étude était d'examiner l'étendue du transfert à travers les trois différentes tâches de transfert distal. Le second objectif était de vérifier si les effets de transfert affectaient le coût situationnel et/ou le coût de la coordination et ce, pour chacune des tâches de transfert. Le troisième objectif était de déterminer si les effets de transfert variaient entre les jeunes adultes et les aînés.

Préalablement à l'exploration des objectifs principaux, nous nous sommes assuré que l'amplitude d'amélioration à la tâche entraînée était plus importante chez les participants ayant reçu l'entraînement en double-tâche. De façon cohérente avec les

études antérieures (Bherer et coll., 2005a, 2008), une diminution significativement plus grande du cout situationnel et du cout de la coordination a été observée chez l'ensemble des participants entraînés. Comme attendu, la diminution du cout de la coordination était significativement plus importante chez les personnes âgées que chez les jeunes. Cette différence était attribuable au fait que les jeunes adultes du groupe contrôle ont vu leur cout de la coordination s'améliorer légèrement alors que ce n'était pas le cas chez les personnes âgées contrôles. Il est plausible que les jeunes adultes aient été plus sensibles à l'effet test-retest que les personnes âgées.

Le premier objectif principal était d'examiner l'étendue du transfert à travers les trois différentes tâches de transfert distal. La première tâche utilisait différentes modalités des stimulus (visuels vers auditifs), la seconde utilisait différentes modalités de réponses (clavier vers un système de volant et de deux pédales) et la dernière utilisait différentes modalités de stimulus et de réponse. Nos résultats ont démontré qu'il y avait des effets de transfert significativement plus importants chez les participants entraînés que chez les participants contrôles pour les trois tâches de transfert utilisées.

Le second objectif était de vérifier si les effets de transfert affectaient le cout situationnel et/ou le cout de la coordination pour chacune des tâches de transfert. En fait, aux tâches de transfert pour lesquelles les modalités de stimulus ou les modalités de réponses différaient, nous avons observé une diminution significativement plus grande du cout de la coordination chez les participants entraînés, mais pas du cout situationnel. Par contre, à la tâche de transfert pour laquelle les modalités de stimulus et les modalités de réponses différaient, la diminution du cout situationnel et du cout de la coordination était comparable entre les participants entraînés et les participants contrôles. Ainsi, si on varie uniquement la modalité de stimulus ou de réponses, les participants deviennent plus efficaces à coordonner les deux tâches à effectuer.

Finalement, le dernier objectif était de déterminer si les effets de transfert variaient entre les jeunes adultes et les aînés. À cet égard, les effets de transfert étaient comparables entre les jeunes adultes et les aînés aux trois tâches de transfert analysées.

5.1.1 Limites

Cette étude comporte quelques limites. D'abord, on ne peut garantir que les effets de transfert observés ne soient pas spécifiques aux tâches utilisées lors de l'entraînement et lors des tâches de transfert. Par exemple, la modalité de réponse verbale n'a pas été testée. De plus, on ne peut certifier que le transfert observé est bidirectionnel, c'est-à-dire qu'un entraînement de tâches auditives pourrait induire un transfert vers des tâches visuelles. La présente étude permet de conclure qu'il est possible d'observer des effets de transfert si les modalités de réponse et/ou de stimulus varient dans le contexte étudié, mais plusieurs spécificités propres à chaque modalité restent à être explorées.

Par ailleurs, il est important de noter que les limites observées (p. ex. : absence de transfert de la capacité de coordonner deux tâches lorsque les modalités de stimulus et de réponse varient) ne sont pas absolues. Il est possible que ces limites soient éventuellement dépassées par un entraînement plus prolongé ou plus efficace que celui administré. On peut toutefois postuler que les patrons de réponses observés se maintiendraient, c'est-à-dire que l'effet de transfert spécifique à la coordination serait beaucoup plus significatif en condition de transfert où la modalité de stimulus ou de réponse est préservée.

En regard aux études précédentes ayant utilisé le même devis de recherche, la présente étude n'a pas permis de mettre en évidence une amélioration plus importante

de la précision des réponses chez les personnes âgées telle que rapportée précédemment (Bherer et coll., 2005a, 2008). Le fait que l'amélioration de la précision aux tâches de transfert ait été équivalente entre les jeunes et les aînés entraînés est sûrement attribuable à un effet de plafond. En effet, les taux de précision aux tâches de transfert étaient très élevés dans l'ensemble (de 98 à 97% selon les tâches), ce qui laissait très peu de place à l'amélioration. Par ailleurs, les temps de réaction de la présente étude étaient globalement plus lents que ceux rapportés dans Bherer et coll (Bherer et coll., 2004; Salthouse et coll., 2003). Ceci suggère que les participants de la présente étude ont probablement opté davantage pour la précision en dépit de la vitesse.

Aussi, une limite importante de cette étude est que les participants entraînés étaient comparés à des participants n'ayant reçu aucune forme d'intervention. Par conséquent, plusieurs facteurs tels que l'effet placebo ou l'impact des interactions avec l'entraîneur peuvent avoir contribué à ce que le groupe entraîné s'améliore davantage. C'est pourquoi, dans les études subséquentes, nous avons comparé l'entraînement en double-tâche à un placebo actif. De plus, les participants jeunes et âgés étaient en moyenne très scolarisés (entre 13 et 15 années en moyenne par groupes), ce qui peut limiter la généralisation des conclusions à la population.

Finalement, une dernière critique pouvant également s'appliquer à l'ensemble des études décrites dans cette thèse est de ne pas avoir contrôlé pour les variables intra-individuelles qui peuvent être corrélées avec de meilleurs effets de transfert, tel que le sentiment de compétence, la perception d'être capable de s'améliorer ainsi que la perception que l'entraînement accompli est efficace (Jaeggi, Buschkuhl, Shah et Jonides, 2014; Merriam et Leahy, 2005). Les participants ayant une personnalité consciencieuse, ouverte aux expériences, extravertie, émotionnellement stable et agréable sont plus propices aux effets de transfert (Baldwin, 1992; Ford et Weissbein,

1997). Finalement, l'âge et le nombre d'années d'éducation sont aussi parfois associés à un impact plus marqué de l'entraînement (Rebok et coll., 2013). Il apparaît donc impératif que les études futures s'assurent que les groupes sont équivalents sur ces divers variables usant de questionnaires ciblés.

5.1.2 Contributions

En somme, ce premier article démontre que les apprentissages réalisés lors de l'entraînement en double-tâche sont suffisamment flexibles pour qu'on observe des effets de transfert même lorsque les modalités de stimulus et de réponses diffèrent de celles utilisées à l'entraînement. Les bénéfices engendrés par l'entraînement cognitif en double-tâche ne peuvent donc pas être entièrement attribuables à un simple apprentissage spécifique d'une association stimulus-réponse. Ces résultats sont encourageants, d'autant plus que des effets de transfert ont été observés après un court entraînement de seulement cinq heures combinant deux tâches simples composées de deux choix de réponses chacune. Aucune étude n'avait encore exploré de façon aussi systématique le transfert modal distal tel que décrit par Zelinski (2009). Plus encore, alors que certaines études ont exploré le transfert vers différentes modalités de stimulus (Bherer et coll., 2005b, 2008; Liepelt et coll., 2011; Strobach, Liepelt, Pashler, Frensch et Schubert, 2013; Strobach et coll., 2012), peu d'études avaient examiné le transfert vers une tâche dont les modalités de réponses étaient différentes de celles de l'entraînement.

De plus, des effets de transfert spécifiques à la coordination ont été observés même lorsque la modalité de stimulus ou de réponse variait. Or, l'habileté à coordonner deux tâches est associée aux fonctions exécutives. Ces résultats suggèrent donc que les gains de l'entraînement sur le plan exécutif sont, au moins en partie, transférables. De façon intéressante, Bherer et coll. (2005b, 2008) avaient observé un transfert

spécifique au coût situationnel lorsque la tâche de transfert différait de l'entraînement quant à la modalité de stimulus d'une seule des deux tâches effectuées simultanément. Pourtant, dans la présente étude, des effets de transfert spécifiques au coût de la coordination ont été observés lorsque la tâche de transfert différait de l'entraînement sur les modalités de stimulus des deux tâches effectuées simultanément. Une explication plausible serait que la coordination efficace des deux tâches dans Bherer et coll. (2005b, 2008) était défavorisée parce qu'une des deux modalités était entraînée alors que l'autre était nouvelle. Ce déséquilibre entre le degré d'expertise aux deux modalités pourrait expliquer l'absence d'effet sur le coût de la coordination dans les études antérieures alors que nous avons observé une meilleure coordination lorsque les deux tâches étaient de modalités différentes.

Par ailleurs, la présente étude est novatrice puisque des effets de transfert ont été observés d'un entraînement visuel auquel on répond à l'aide d'un clavier vers des tâches de transfert auditives auxquelles on répond à l'aide d'un volant et de deux pédales. Ces résultats pourraient avoir des implications sur le plan clinique puisque plusieurs recherches aspirent à entraîner des tâches motrices complexes telles que la conduite automobile ou l'équilibre à la marche par le biais de programmes d'entraînement qui se pratiquent sur l'ordinateur (Cassavaugh et Kramer, 2009; Marmeleira et coll., 2009). Bien que certains laboratoires puissent fournir des systèmes de volant et de pédales ou de tapis roulant, ces périphériques sont peu pratiques dans l'optique de distribuer un entraînement cognitif au grand public. Par contre, certains périphériques tels que le clavier, la souris et l'écran tactile sont plus répandus et facilement distribuables (Noack et coll., 2014; Walton et coll., 2014). Or, les effets de transfert modal distal observés dans la présente étude supportent l'utilisation de l'ordinateur dans le but d'améliorer des modalités de réponses différentes, telles que celles impliquées dans la conduite automobile. Par contre, suite à l'entraînement en double-tâche, aucun effet de transfert n'a été observé sur la

capacité de coordonner les deux tâches lorsque les modalités de réponses et de stimulus différaient de l'entraînement. En effet, les effets de transfert se limitaient à une amélioration de la vitesse générale lorsque les modalités de stimulus et de réponses diffèrent. Conséquemment, il apparaît moins probable qu'un simulateur de conduite sur clavier améliore la coordination de la marche et d'une tâche auditivoverbale simultanée puisque les modalités de réponse et de stimulus diffèrent. Les études futures devraient tenir compte de la distance entre les modalités utilisées lors de l'entraînement cognitif et celles requises lors des situations de la vie quotidienne visées par l'entraînement. Il serait judicieux d'opter pour le meilleur compromis entre l'accessibilité de l'entraînement et la proximité modale entre l'entraînement cognitif et les impacts espérés au quotidien.

Finalement, il est important de noter que les effets de transfert observés étaient, dans l'ensemble, comparables entre les jeunes adultes et les aînés. Ces résultats supportent la notion que la plasticité cognitive est préservée malgré l'avancée en âge (Basak et coll., 2008; Yang, Krampe et Baltes, 2006) et supportent l'utilisation d'entraînements de même type que celui utilisé dans cet article chez les populations âgées.

5.1.3 Perspectives futures

Comme mentionné dans la section portant sur les limites, malgré l'effort d'évaluer de façon systématique le transfert modal, plusieurs permutations de transfert vers différentes modalités de stimulus et de réponse demeurent à explorer. De plus, les conclusions de cette étude se limitent à l'entraînement de l'attention divisée. On peut émettre l'hypothèse que les entraînements de la mise à jour et de l'alternance mentale entraîneraient des effets de transfert similaires en raison des effets de transfert déjà observés dans plusieurs études (Borella, Carretti, Riboldi et De Beni, 2010; Jaeggi et coll., 2008; Karbach et Kray, 2009; Klingberg et coll., 2002; Li et coll., 2008; Minear

et Shah, 2008; Westerberg et Klingberg, 2007), mais la démonstration demeure à faire.

Dans la présente étude, la structure de la double-tâche est demeurée inchangée aux tâches de transfert : l'entraînement ainsi que les tâches de transfert consistaient tous en une combinaison de deux tâches de discrimination discrète avec deux possibilités de réponses. Il serait intéressant de vérifier à quel point les bénéfices de l'entraînement peuvent se généraliser vers des tâches recrutant l'attention divisée, mais dont la structure de tâche varie. Des études ont rapporté des effets de transfert vers des structures de tâches plus naturelles ou semblables à certaines activités de la vie quotidienne (Cassavaugh et Kramer, 2009; Fraser et coll., 2014; Li et coll., 2010; Roenker et coll., 2003; Silsupadol, Lugade, et coll., 2009; Willis et coll., 2006), ce qui suggère qu'il existe une certaine flexibilité de transfert quant à la structure de la tâche, mais il serait pertinent de mieux comprendre comment celle-ci peut influencer le transfert. Par exemple, il serait intéressant de comparer les effets de transfert découlant d'un entraînement en double-tâche comme celui utilisé dans la présente étude vers une combinaison de tâches continues (ex. : tenir compte de cadrans), de tâches de décisions sémantiques (ex.: est-ce un animal?), de tâches arithmétiques complexes (ex. : « $v + ? = z$ » où « ? » est l'écart entre les deux lettres) ou de tâches motrices (ex. : exercice sur Wii Fit®).

Aussi, dans la présente étude, le transfert modal a été extensivement analysé, mais l'étendue du transfert fonctionnel demeure peu connue. En effet, très peu d'études ont rapporté des effets de transfert d'un entraînement cognitif visant une fonction vers une tâche de transfert visant une autre fonction (Ball et Wahl, 2002). Ceci est cohérent avec l'idée que la distance du transfert fonctionnel devrait être fortement corrélée avec la proportion de chevauchement entre les réseaux neuronaux activés durant l'entraînement et ceux activés durant la tâche de transfert (Buschkuhl et coll.,

2012; Dahlin et coll., 2008; Olesen et coll., 2004). Par exemple, on ne devrait pas s'attendre à ce que la mémoire épisodique bénéficie d'un entraînement de l'attention divisée puisque ces deux fonctions cognitives sont très éloignées sur le plan neuronal. Toutefois, les fonctions exécutives regroupent un ensemble de fonctions distinctes, qui partagent une variance commune et des régions neuronales similaires (Miyake et Friedman, 2012; Miyake et coll., 2000). On pourrait donc s'attendre à observer un transfert, par exemple, d'un entraînement de la mise à jour vers un entraînement de l'attention divisée. Dans ce sens, Bier, de Boysson et Belleville (2014) ont observé un transfert des bénéfices d'un entraînement en double-tâche vers une tâche de *1-back* (mais pas de *2-back*). De tels résultats sont encourageants, mais le défi de l'impureté des tâches exécutives rend l'interprétation difficile. En effet, comme mentionné précédemment, on observe dans la double-tâche un coût situationnel qui se traduit par l'exigence de maintenir plusieurs possibilités en mémoire de travail. Ainsi, il serait possible que l'entraînement mène à une diminution du coût situationnel, et parallèlement, à une amélioration de la capacité de maintenir du matériel en mémoire de travail, surtout si la charge est faible comme en tâche de *1-back*. En imagerie, l'étude de l'activation cérébrale fonctionnelle lors de l'exécution de tâches exécutives avant et après l'entraînement pourrait aider à mieux comprendre la nature des effets de transfert observés au sein de tâches recrutant différentes fonctions cognitives.

5.2 Entraînement à priorité variable et effets de transfert

La deuxième problématique explorée dans cette thèse concernait les facteurs pouvant améliorer les effets de transfert lors d'un entraînement en double-tâche chez les personnes âgées. Parmi les facteurs ayant été mis de l'avant, cette thèse s'est concentrée particulièrement sur l'effet de la variabilité au sein de l'entraînement comme biais pour rendre les apprentissages plus flexibles. L'impact de l'entraînement en double-tâche à priorité variable a été investigué dans le cadre de l'article « *Specific*

transfer effects following variable priority dual-task training in older adults ». Cette étude avait pour objectif d'examiner les impacts sur les effets de transfert de la variation des priorités accordées à chacune des deux tâches en situation de double-tâche. Pour ce faire, l'efficacité de l'entraînement à priorité variable (EPV), de l'entraînement à priorité fixe (EPF) et d'un placebo actif a été comparée. Lors de l'EPV, les participants devaient prioriser une tâche ou l'autre ou donner une priorité égale aux deux tâches. La consigne de priorisation variait à plusieurs reprises au cours de chaque séance. Lors de l'EPF, les participants devaient toujours accorder la même priorité aux deux tâches. Une autre distinction importante entre cet entraînement et celui utilisé dans Bherer et coll. (2005b, 2008) est que les deux tâches étaient temporellement indépendantes. En effet, répondre à une tâche déclenchait le stimulus suivant associé à cette tâche, et ce, de façon totalement parallèle à la tâche concurrente. Ce changement a été apporté puisque les études qui ont observé des avantages suite à l'entraînement EPF avaient tous en commun d'utiliser des tâches indépendantes (Bier et coll., 2014; Boot et coll., 2010b; Kramer et coll., 1995b; Kramer, Larish, et coll., 1999; Silsupadol, Lugade, et coll., 2009), alors que Bherer et coll. (2005b, 2008) n'avaient pas observé d'avantages en utilisant des tâches dépendantes. Nous avons donc modifié la tâche en partant du principe que cela favorisait les bénéfices associés à l'EPF. Finalement, dans le cadre du placebo actif, les participants recevaient des cours magistraux ainsi que de courts exercices afin de mieux maîtriser l'ordinateur (ex.: environnement *Windows*, logiciels *Word*, *Excel*, etc.) et de mieux utiliser les outils de l'internet (ex.: fureteur, moteur de recherche, *Google maps*, Wikipédia, etc.). Avant et après l'entraînement, les participants, âgés de 55 ans à 65 ans, ont été évalués à l'aide de deux tâches de transfert, soit une tâche de transfert modal proximal et une tâche de transfert modal distal.

Préalablement à l'exploration des objectifs principaux, des analyses ont été conduites afin de s'assurer que les participants suivaient les consignes, c'est-à-dire que les

participants ayant reçu l'EPV variaient leurs patrons de réponse en fonction des consignes de priorités et que les participants ayant reçu l'EPF accordaient la même priorité aux deux tâches. Les résultats ont indiqué que les participants ayant reçu l'EPV et ceux ayant reçu l'EPF ont tous deux respecté les consignes reçues. Par la suite, nous avons comparé l'amélioration des deux groupes entraînés au cours des cinq séances d'entraînement reçues. Les deux groupes étaient comparables quant à leur amplitude d'amélioration et rien ne suggère qu'un groupe ne se soit amélioré plus rapidement que l'autre. Ces résultats suggèrent une absence de valeur ajoutée de l'EPV sur l'EPF au sein du programme d'entraînement.

Notre objectif principal était d'examiner si l'EPV entraînerait des effets de transfert plus importants que l'EPF ou que l'intervention placebo. Il a été observé que l'EPV entraînait une diminution plus importante du coût de la coordination que les deux autres interventions à la tâche de transfert modal proximal. L'amélioration du coût situationnel était comparable entre les trois groupes. Des analyses plus détaillées ont démontré que le coût de la coordination diminuait dans chaque groupe, mais de façon significativement plus importante dans le groupe ayant reçu l'EPV. L'amélioration du coût de la coordination était comparable entre l'EPF et l'intervention placebo. Concernant la tâche de transfert modal distal, une analyse générale de l'ensemble des participants n'a pas permis de mettre en évidence une différence significative entre l'amélioration des trois groupes. Toutefois, en comparant chaque groupe en paires, on remarque que l'EPV mène à une amélioration globale plus importante que l'intervention placebo. De plus, l'analyse de chaque groupe pris isolément révèle que l'EPV est le seul type d'entraînement qui ait mené à une diminution significative du coût de la coordination. À travers les différentes analyses, le taux de précision est demeuré stable, ce qui permet d'écarter l'hypothèse d'un compromis précision-vitesse. En somme, la présente étude suggère que l'EPV entraîne des effets de

transfert plus grands que l'EPF et que les bénéfices de l'EPV sur les effets de transfert touchent particulièrement la capacité de coordonner deux tâches.

5.2.1 Limites

De façon intéressante, la présente étude a démontré que l'EVP mène à des effets de transfert plus importants sans toutefois qu'on ait observé d'amélioration plus marquée lors de l'entraînement. L'absence de démarcation de l'EVP lors de l'entraînement est cohérente avec Bherer et coll. (2005b, 2008), mais va à l'encontre de plusieurs autres publications (Bier et coll., 2014; Boot et coll., 2010b; Kramer et coll., 1995b; Kramer, Larish, et coll., 1999; Silsupadol, Lugade, et coll., 2009). Les résultats ne permettent pas d'expliquer l'absence de différence entre l'EPV et l'EPF par un effet de plancher puisque les participants montraient des signes d'amélioration jusqu'à la dernière séance. Néanmoins, l'absence de bénéfices de l'EPV sur l'amplitude de l'amélioration à l'entraînement n'invalide pas les observations faites sur les effets de transfert. En effet, selon Schmidt et Bjork (1992), les conditions menant à une grande amplitude de transfert ne sont pas nécessairement celles qui mènent à une grande amplitude d'amélioration dans le cadre de l'entraînement. Plus encore, le fait que l'EPV mène à davantage d'effet de transfert malgré une amélioration comparable lors de l'entraînement ne fait que renforcer l'hypothèse que l'EVP a un effet positif sur la flexibilité de l'apprentissage. Dans nos analyses, nous avons comparé les deux groupes en situation de priorité égale entre les deux tâches. Il aurait été pertinent de les comparer occasionnellement en situation de priorité variable afin d'observer si les participants ayant reçu l'EPV auraient distribué leur attention en respectant les consignes plus efficacement que ceux ayant reçu l'EPF.

Par ailleurs, les participants étaient relativement éduqués (environ 15 ans) et la moyenne d'âge des participants était relativement basse (55 à 65 ans), ce qui les

classifie comme de jeunes personnes âgées « *young-old adults* ». Ceci limite partiellement la généralisation des conclusions.

5.2.2 Contribution

Cette étude offre une contribution importante et originale à la littérature sur le transfert suite à un entraînement en double-tâche chez les personnes âgées. Ces résultats supportent l'hypothèse que varier la priorité accordée à chacune des deux tâches au cours de l'entraînement mène à des effets de transfert plus grands et que les bénéfices de l'EPV sur les effets de transfert touchent particulièrement la capacité à coordonner deux tâches. Quelques études ont rapporté que l'EPV avait des impacts bénéfiques sur les effets de transfert (Boot et coll., 2010b; Kramer et coll., 1995a; Kramer, Larish, et coll., 1999), mais plusieurs ne sont pas parvenues à répliquer ces résultats (Bherer et coll., 2005b, 2008; Boot, Simons, Strothart et Stutts, 2013; Silsupadol, Lugade, et coll., 2009). Le fait que l'EPV bénéficie spécifiquement au coût de la coordination supporte l'hypothèse qu'il permet de développer davantage la capacité de coordonner de multiples tâches en mettant l'emphase sur la relation entre les différentes tâches et en amenant les participants à redistribuer leurs ressources attentionnelles entre les deux tâches (Cassavaugh et Kramer, 2009; Gopher, 2007). Ainsi, il est plausible que les participants ayant suivi l'EPV aient développé une compétence plus flexible et plus sensible aux exigences de l'environnement alors que les participants ayant reçu l'EPF ont acquis des apprentissages plus procéduraux et automatisés. Ceci pourrait expliquer le fait que les participants ayant reçu l'EPV ont été particulièrement avantagés lorsque le contexte a été légèrement modifié. Bien qu'observables, les bénéfices étaient plus modestes en transfert modal distal, ce qui est cohérent avec la sensibilité des effets de transfert à la distance entre l'entraînement et la tâche de transfert tel qu'observé dans le cadre de la première étude. Comme les bénéfices de l'EPV sont somme toute très fins, il est possible que

ces bénéfiques soient plus difficiles à détecter en transfert plus distal, surtout après un entraînement de seulement cinq heures. Par ailleurs, l'entraînement en double-tâche utilisé dans cette étude était similaire celui utilisé dans Bherer et coll. (2005b, 2008), mais avec la distinction majeure que les deux tâches étaient temporellement indépendante. Comme plusieurs autres études ayant utilisé des tâches indépendantes, la présente étude a observé des avantages liés à l'EPV, ce qui n'avait pas été observé par Bherer et coll. (2005b, 2008). Ainsi, la présente étude suggère que l'indépendance entre les deux tâches serait peut-être une caractéristique importante afin d'observer des avantages liés à l'EPV. Les tâches indépendantes présentent une plus grande incertitude quant au délai et à l'ordre d'apparition des stimulus. Ceci pourrait forcer les participants à prendre des décisions plus ambiguës et, par conséquent, particulièrement stimuler les habilités de contrôle attentionnel qui caractérisent l'EPV.

Une autre contribution originale de la présente étude est d'avoir comparé l'entraînement en double-tâche à un placebo actif plutôt qu'à une attente passive. De plus, les participants étaient répartis de façon aléatoire et l'étude était effectuée à double insu. Une récente revue sur l'entraînement cognitif a suggéré qu'une partie du scepticisme entourant l'efficacité de l'entraînement cognitif serait attribuable au manque fréquent de contrôle rigoureux permettant d'exclure plusieurs hypothèses alternatives. Certaines études ont déjà comparé l'entraînement en double-tâche à l'entraînement en simple-tâche (Liepelt et coll., 2011). Bien que cette forme de contrôle soit très justifiable et pertinente, on peut questionner le niveau de motivation et le sentiment progression des participants ayant reçu l'entraînement en simple-tâche. En effet, dans l'ensemble des études de la présente thèse, nous avons observé que la performance aux essais simples purs plafonne généralement à partir de la deuxième séance. De plus, Boot, Simons, Strothart, et Stutts (2013) ne recommandent pas l'utilisation de placebos actifs qui ne sont pas suffisamment engageants et qui ne

suscite pas d'attentes chez les participants en post-entraînement. Dans le même sens, Walton et coll. encouragent l'utilisation de « sham trainings », soit des entraînements au cours desquelles les participants sont incités à penser que l'intervention qu'ils reçoivent pourrait être efficace. Dans la présente étude, les participants du placebo actif avaient eux aussi l'occasion d'apprendre, d'interagir en groupe, d'être renforcés sur leurs habiletés, de vivre un sentiment de compétence et de faire une activité non routinière. De plus, comme pour l'entraînement en double-tâche, les entraîneurs mentionnaient aux participants, tout en demeurant vagues, que cette stimulation pourrait être bénéfique pour leur cognition de sorte à équilibrer les attentes. En somme, l'utilisation d'une telle forme de placebo actif permet de renforcer le niveau de confiance envers les conclusions de cette étude.

5.2.3 Perspectives futures

Les résultats du deuxième article nous amènent à recommander de varier la priorisation afin de rendre plus efficace l'entraînement de l'attention divisée. Nous croyons que cela mènera à une meilleure amélioration du contrôle attentionnel et une meilleure généralisation des apprentissages vers de situation de la vie quotidienne. Comme mentionné dans les limites de l'étude, il serait pertinent d'évaluer, chez les participants ayant reçu l'EPF, la capacité à répartir son attention en respectant les consignes de la tâche chez, et ce, avant et après l'entraînement. En effet, peu d'études ont examiné l'impact de la priorisation lors de l'entraînement sur la capacité de prioriser efficacement les tâches suite à l'entraînement. Comme dans les situations de la vie quotidienne, il arrive couramment qu'une tâche soit plus importante que l'autre (p. ex. : conduire en discutant). Il est donc essentiel de préserver la capacité de distribuer efficacement son attention entre deux tâches en fonction du contexte.

Il serait aussi particulièrement intéressant de tester les impacts de l'EPV avec des tâches plus écologiques et plus asymétriques, c'est-à-dire moins semblables l'une à l'autre. Par exemple, il serait intéressant d'examiner l'effet de la priorisation lorsque des individus doivent s'entraîner à faire une épreuve auditivo-verbale tout en marchant rapidement sur un tapis roulant. Ces deux tâches sont très différentes l'une de l'autre et on présume que l'interférence perceptivomotrice est minimale. De plus, cette mise en situation à une grande valeur écologique, ce qui pourrait favoriser la portée clinique de l'entraînement. Finalement, il serait pertinent de vérifier si les participants bénéficient autant, ou sinon plus, de la priorisation dans une situation aussi asymétrique.

5.3 Entraînement hétérogène et effet de transfert

Une troisième étude, portant également sur l'impact de la variabilité de l'entraînement cognitif sur les effets de transfert, a été soumise : « *Benefits of heterogeneous dual-task training on transfer effects in older adults* ». Cette étude compare trois types d'entraînement: l'entraînement hétérogène, l'entraînement homogène et un placebo actif. Toutes les interventions se déroulaient sur douze semaines à raison d'une séance d'une heure par semaine. Dans le cadre de l'entraînement hétérogène, les participants étaient appelés à s'entraîner à trois différentes combinaisons de double-tâche qui différaient entre elles quant aux stimulus présentés. Par opposition, une seule combinaison de double-tâche était entraînée dans le cadre de l'entraînement simple. De façon très similaire à la deuxième étude, le placebo actif visait l'acquisition de connaissances liées à l'informatique. Avant et après l'entraînement, les participants, âgés de 60 ans et plus, ont été évalués sur une tâche de transfert modal proximal et une tâche de transfert modal distal.

Un sous-objectif de cette étude était de comparer l'amplitude et la vitesse d'amélioration des entraînements hétérogène et homogène au cours de l'entraînement. Pour se faire, les courbes d'amélioration à la double-tâche A ont été comparées : la double-tâche A était la seule combinaison de stimulus ayant été entraînée au sein des entraînements hétérogène et homogène. Comme le groupe hétérogène s'était entraîné à accomplir trois différentes combinaisons de double-tâche, ce groupe s'exerçait à la double-tâche A uniquement lors des séances 1, 10, 11 et 12. En comparaison, une seule combinaison était entraînée dans le groupe homogène, donc ce groupe s'exerçait à la double-tâche A pendant l'entièreté des 12 séances. Ainsi, en fonction du nombre de séances entraînées à la double-tâche A, les participants ayant reçu l'entraînement hétérogène s'amélioraient plus rapidement que ceux ayant reçu l'entraînement homogène. De plus, cette différence entre les deux groupes était spécifique au coût de la coordination. Qualitativement, le coût de la coordination observé chez le groupe hétérogène, après quatre séances à s'entraîner à la double-tâche A, n'est dépassé par le groupe homogène qu'après onze séances à la même tâche.

L'objectif principal de cette étude était d'examiner si l'entraînement hétérogène favoriserait le transfert modal. Nous avons émis l'hypothèse que, en raison de la plus grande variation des stimulus utilisés, les apprentissages seraient plus indépendants de la nature des stimulus. Or, l'entraînement hétérogène était la seule intervention qui ait mené à une diminution significative du coût de la coordination chez les personnes âgées à la tâche de transfert proximal. Les deux types d'entraînements ont mené une amélioration du coût de la coordination des réponses significativement plus importante qu'un placebo actif. Il est toutefois important de noter que les bénéfices de l'entraînement hétérogène et de l'entraînement homogène n'étaient pas significativement distinguables. Les effets de transfert à la tâche de transfert modal

distal étaient comparables entre les trois groupes, tant sur le plan des temps de réaction que de la précision des réponses.

5.3.1 Limites

Bien que l'entraînement hétérogène soit le seul type d'entraînement qui ait entraîné une diminution significative du coût de la coordination, les effets de transfert découlant de l'entraînement hétérogène n'étaient pas significativement supérieurs à ceux découlant de l'entraînement homogène pour la quantité de participants évalués. On se doit donc d'interpréter les résultats avec réserve. Il est possible que le protocole de recherche n'ait pas permis de maximiser l'impact l'hétérogénéité d'un entraînement. Lors de l'entraînement hétérogène, la nature des stimulus de la tâche demeurait stable au cours de chaque séance et variait seulement au bout de quatre séances. Comme les participants ne s'entraînaient qu'une fois par semaine, on peut estimer qu'ils passaient environ un mois à s'entraîner à chacune des versions de la tâche. En comparaison, pour le protocole utilisé dans le cadre de l'EPV, les consignes variaient fréquemment au cours de chaque séance d'entraînement. Or, il est possible que le contexte n'était pas assez fréquemment modifié dans le cadre de l'entraînement hétérogène. Afin de favoriser la flexibilité de l'apprentissage, il aurait peut-être été nécessaire de varier la nature de stimulus à plusieurs reprises au cours de chaque séance. Les participants auraient alors pu possiblement mieux distinguer les éléments de surface et éléments centraux de la tâche (Detterman et Sternberg, 1993; Veillard et Coppé, 2009) et donc acquérir une compétence moins spécifique au contexte.

D'autre part, en raison de l'augmentation de la variabilité lors de la phase d'apprentissage, nous avons choisi d'augmentation de la durée de l'entraînement afin de permettre l'acquisition des habiletés visées par l'entraînement (Green et Bavelier,

2008b). C'est pourquoi les participants ont été entraînés pendant 12 semaines à raison d'une séance d'une heure par semaine. Cette dose d'entraînement était supérieure à celle utilisée dans les études précédentes alors que les participants s'entraînaient de deux à trois fois par semaine, pour un total de cinq heures (Bherer et coll., 2005b, 2006, 2008; Lussier, Gagnon et Bherer, 2012). Il est possible qu'un entraînement aussi prolongé n'ait pas permis de distinguer efficacement l'entraînement homogène de l'entraînement hétérogène en raison d'un effet de plafond où les deux groupes ont atteint leur potentiel maximal d'amélioration. Toutefois, même si chaque groupe avait atteint son asymptote d'amélioration dans le cadre de l'entraînement, il aurait été plausible que l'amélioration du groupe homogène soit plus spécifique et donc moins susceptible aux effets de transfert. Quoi qu'il en soit, il est important de rappeler que les effets de transfert chez deux groupes d'entraînement étaient supérieurs à ceux d'un placebo actif, ce qui démontre leur efficacité.

5.3.2 Contribution

La présente étude est originale puisqu'elle explore l'impact la variabilité au sein d'un entraînement cognitif visant une fonction cognitive spécifique chez les personnes âgées. À notre connaissance, aucune étude n'avait investigué l'impact de la variabilité sur l'effet de transfert suite à un entraînement cognitif. En somme, les résultats suggèrent un modeste avantage de l'entraînement hétérogène sur l'entraînement homogène en transfert modal proximal et cet avantage est spécifique à la capacité de coordonner les deux tâches. Le fait que le transfert modal soit spécifique au coût de la coordination est cohérent avec les effets de transfert observés dans le premier et le deuxième article de cette thèse. Comme pour le deuxième article, les participants entraînés ont été comparés à des participants ayant reçu, un placebo actif et cette étude étaient effectués à double insu, ce qui représente une force de cette étude.

De plus, l'entraînement hétérogène a mené à une plus grande vitesse d'apprentissage à des tâches similaires dans le cadre de l'entraînement hétérogène. Il est probable que les participants ayant reçu l'entraînement hétérogène aient acquis des apprentissages en s'entraînant à d'autres combinaisons de double-tâches et qu'ils ont pu adapter ses apprentissages à la double-tâche A, ce qui leur a permis de coordonner les deux tâches à accomplir plus rapidement. Bien que ces observations aient été faites au cours de l'entraînement, l'adaptation d'apprentissages acquis précédemment pourrait être qualifiée de transfert modal proximal. Il est important de noter que, bien que l'entraînement hétérogène ait mené à une meilleure amélioration du cout de la coordination, les améliorations du cout situationnel et de la vitesse générale étaient comparables entre les deux groupes. Il est donc peu probable que l'impact de l'entraînement hétérogène soit simplement attribuable à un effet de familiarisation à l'environnement de la tâche (p. ex. détection de stimulus visuel, interaction avec le clavier) puisque si tel était le cas, les temps de réaction à tous les types d'essais auraient dû diminuer dans la même proportion.

En somme, la variation du contexte au sein d'un entraînement cognitif devrait être considérée comme un facteur pouvant favoriser les bénéfices découlant de l'entraînement. Il est toutefois probable que ce type d'entraînement soit plus approprié dans des situations où il est possible d'entraîner les participants pendant plusieurs sessions (Green et Bavelier, 2008a).

5.3.3 Perspectives futures

Il apparaît pertinent d'examiner si certaines altérations au protocole actuel permettraient à l'entraînement hétérogène plus efficace. D'une part, on pourrait utiliser un entraînement hétérogène avec une plus grande variabilité entre les différentes tâches entraînées. Par exemple, dans le cadre de l'entraînement de

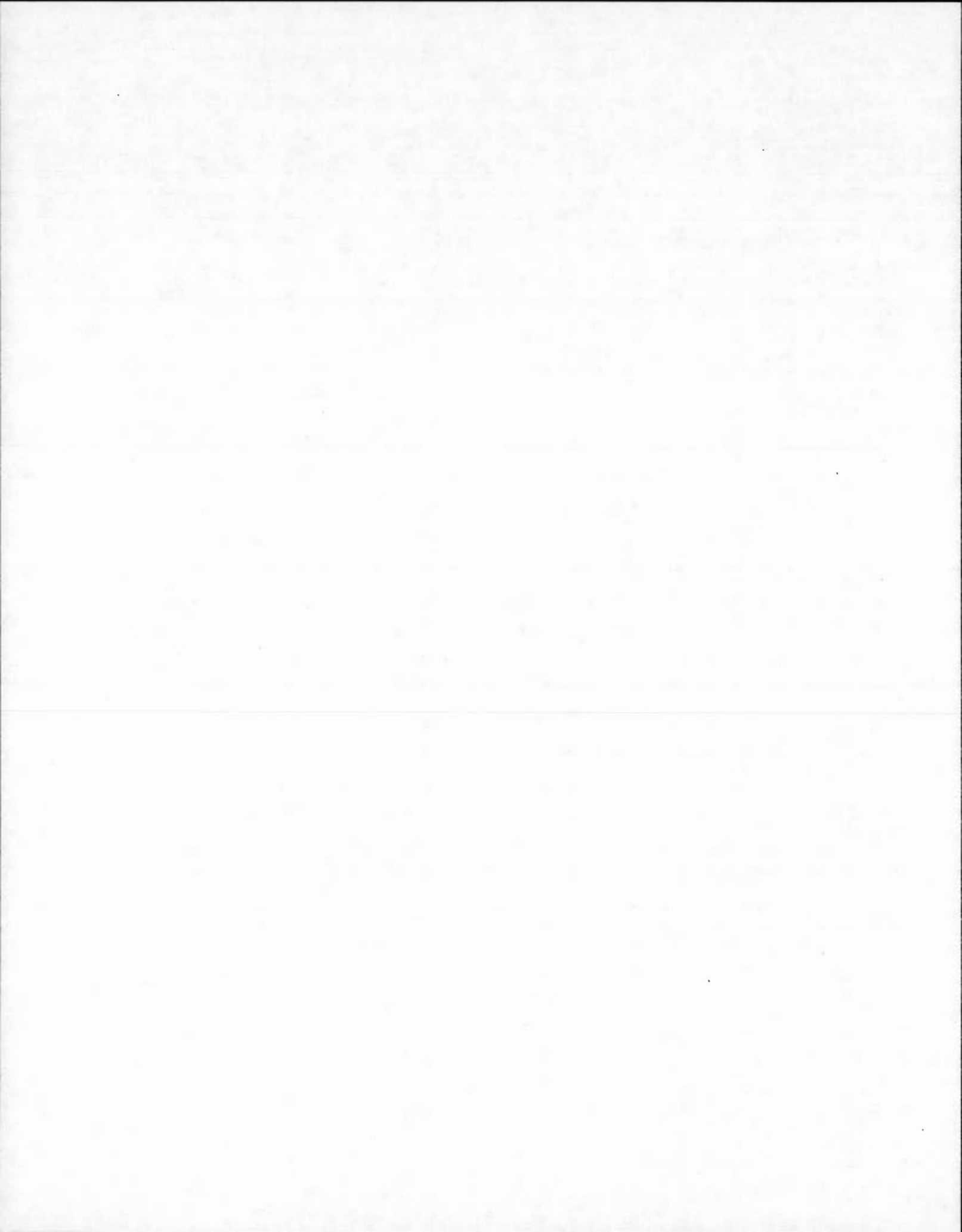
l'attention divisée, il serait pertinent d'évaluer un programme d'entraînement composé d'une double-tâche sur l'ordinateur, d'une double-tâche en simulateur de conduite et d'une double-tâche motrice (p. ex. : faire une tâche cognitive tout en marchant sur un tapis roulant). Ainsi, en comparaison à l'étude actuelle, les tâches seraient significativement plus différentes les unes des autres, tout en ayant en commun le recrutement de l'attention divisée, ce qui mènerait peut-être à une meilleure généralisation des apprentissages (Geusgens et coll., 2007; Green et Bavelier, 2008b). Aussi, comme mentionné précédemment, il serait intéressant de vérifier si le fait de changer la tâche entraînée plusieurs fois dans la cadre de chaque séance serait plus efficace que de changer la tâche chaque 3-4 séances. Une telle fréquence de variation pourrait permettre un apprentissage plus détaché du contexte de l'entraînement (Detterman et Sternberg, 1993; Veillard et Coppé, 2009). Ultimement, si une forme d'entraînement hétérogène s'avère être significativement plus efficace, il serait essentiel de vérifier l'étendue du transfert vers des tâches de la vie quotidienne n'ayant pas été directement entraînée.

Finalement, il est intéressant de considérer que l'entraînement hétérogène pourrait améliorer la motivation et la rétention des participants puisque c'est un format d'entraînement moins répétitif et lassant. La motivation est souvent mentionnée comme étant un modulateur essentiel des effets de transfert ainsi que de la plasticité neuronale (Cramer et coll., 2011; Green et Bavelier, 2008b; Vygotsky, 1978). Dans le même ordre d'idée, la recherche en psychologie industrielle et organisationnelle suggère que la motivation des individus est supérieure si ceux-ci sont invités à participer à la structure de l'entraînement cognitif et à monitorer certains aspects de leur entraînement (Merriam et Leahy, 2005; Salas, Tannenbaum, Kraiger et Smith-Jentsch, 2012). Bien que certains participants apprennent mieux lorsque le programme est très structuré (Salas et coll., 2012), il pourrait être bénéfique de permettre aux participants qui le veulent de varier la structure de leur entraînement

lorsqu'il le désire sans alterner la structure profonde de l'entraînement. À cet effet, il a été démontré que le fait de pouvoir diriger certains aspects de son entraînement mène à de meilleurs effets de transfert, et ce, même chez les participants ayant une faible motivation et de faibles performances aux épreuves cognitives (Keith, Richter et Naumann, 2010). Ainsi, l'entraînement hétérogène présente une belle opportunité pour permettre aux participants de s'autoréguler sur un facteur de l'entraînement sans trop faire varier l'efficacité de l'entraînement. De plus, l'entraînement hétérogène pourrait augmenter la motivation et la rétention chez les participants qui ressentent le désir de briser la routine du programme d'entraînement.

CONCLUSION

La présente thèse a investigué de façon extensive et rigoureuse les effets de transfert suite à un entraînement de l'attention divisée chez les personnes âgées. En effet, la première étude de cette thèse a démontré que l'entraînement en double-tâche pouvait mener à des effets de transfert modal distal chez les jeunes adultes et les personnes âgées. La seconde étude a démontré, chez un groupe de personnes âgées, que l'entraînement en double-tâche à priorité variable favorise les effets de transfert modal en comparaison à l'entraînement à priorité fixe. Finalement, la troisième étude a permis de mettre en évidence qu'il existe certains avantages à varier le contexte lors d'un entraînement en double-tâche. Ensemble, les résultats de ces trois études indiquent que l'entraînement de l'attention divisée mène à des bénéfices pouvant se généraliser à des contextes différents de celui entraîné. Ces études ont également mis de l'avant certains facteurs pouvant augmenter l'efficacité de l'entraînement en double-tâche en favorisant les effets de transfert. Sachant que l'attention divisée est une fonction qui est affectée par le vieillissement normal et que l'attention divisée est fortement associée au niveau fonctionnel des personnes âgées au quotidien, il apparaît essentiel de mieux comprendre comment améliorer les habiletés de partage attentionnel.



BIBLIOGRAPHIE

- Albinet, C. T., Boucard, G., Bouquet, C. A. et Audiffren, M. (2012). Processing speed and executive functions in cognitive aging: how to disentangle their mutual relationship? *Brain Cogn*, 79(1), 1-11.
- Allen, P. A., Ruthruff, E., Elicker, J. D. et Lien, M. C. (2009). Multisession, dual-task psychological refractory period practice benefits older and younger adults equally. *Exp Aging Res*, 35(4), 369-399.
- Allen, P. A., Smith, A. F., Vires-Collins, H. et Sperry, S. (1998). The psychological refractory period: evidence for age differences in attentional time-sharing. *Psychol Aging*, 13(2), 218-229.
- Alvarez, J. A. et Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychol Rev*, 16(1), 17-42.
- Amieva, H., Phillips, L. et Della Sala, S. (2003). Behavioral dysexecutive symptoms in normal aging. *Brain Cogn*, 53(2), 129-132.
- Andres, P. et Van der Linden, M. (2000). Age-related differences in supervisory attentional system functions. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 55(6), P373-380.
- Association québécoise des neuropsychologues. (2015). Les fonctions cognitives. from <http://aqnp.ca/la-neuropsychologie/les-fonctions-cognitives/>
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuhl, M. et Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychon Bull Rev*, 22(2), 366-377.
- Awoniyi, E. A., Griego, O. V. et Morgan, G. A. (2002). Person-environment fit and transfer of training. *International Journal of Training and Development*, 6, 25-35.

- Baddeley, A. et Della Sala, S. (1996). Working memory and executive control. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 351(1346), 1397-1403; discussion 1403-1394.
- Baldwin, T. T. (1992). Effects of alternative modeling strategies on outcomes of interpersonal-skills training. *Journal of applied psychology*, 77, 147-154.
- Ball, K. et Owsley, C. (2000). Increasing mobility and reducing accidents of older drivers. In K. W. Schaie & M. Pietrucha (Eds.), *Mobility and transportation in the elderly* (pp. 213-251). New York: Springer publishing compagny.
- Ball, K. et Sekuler, R. (1987). Direction-specific improvement in motion discrimination. *Vision Res*, 27(6), 953-965.
- Ball, K. et Wahl, H. (2002). Driving in old age: use of technology to promote independence. *Gerontechnology*, 1(4), 217-219.
- Ball, K. K., Beard, B. L., Roenker, D. L., Miller, R. L. et Griggs, D. S. (1988). Age and visual search: expanding the useful field of view. *J Opt Soc Am A*, 5(12), 2210-2219.
- Ball, K. K., Roenker, D. L., Wadley, V. G., Edwards, J. D., Roth, D. L., McGwin, G., Jr., . . . Dube, T. (2006). Can high-risk older drivers be identified through performance-based measures in a Department of Motor Vehicles setting? *J Am Geriatr Soc*, 54(1), 77-84.
- Ball, K. K., Ross, L. A., Roth, D. L. et Edwards, J. D. (2013). Speed of processing training in the ACTIVE study: how much is needed and who benefits? *J Aging Health*, 25(8 Suppl), 65S-84S.
- Baltes, P. B. et Kliegl, R. (1992). Further testing of limits of cognitive plasticity: Negative age differences in a mnemonic skill are robust. *Developmental psycholog*, 28(1), 121-125.

- Baltes, P. B., Staudinger, U. M. et Lindenberger, U. (1999). Lifespan psychology: theory and application to intellectual functioning. *Annu Rev Psychol*, 50, 471-507.
- Barnett, S. M. et Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychol Bull*, 128(612-637).
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W. et Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychol Aging*, 23(4), 765-777.
- Baudouin, A., Clarys, D., Vanneste, S. et Isingrini, M. (2009). Executive functioning and processing speed in age-related differences in memory: contribution of a coding task. *Brain Cogn*, 71(3), 240-245.
- Beauchet, O., Annweiler, C., Allali, G., Berrut, G. et Dubost, V. (2008). Dual task-related changes in gait performance in older adults: a new way of predicting recurrent falls? *J Am Geriatr Soc*, 56(1), 181-182.
- Beauchet, O., Annweiler, C., Dubost, V., Allali, G., Kressig, R. W., Bridenbaugh, S., . . . Herrmann, F. R. (2009). Stops walking when talking: a predictor of falls in older adults? *Eur J Neurol*, 16(7), 786-795.
- Beauchet, O., Dubost, V., Allali, G., Gonthier, R., Hermann, F. R. et Kressig, R. W. (2007). 'Faster counting while walking' as a predictor of falls in older adults. *Age Ageing*, 36(4), 418-423.
- Bedard, M., Weaver, B., Darzins, P. et Porter, M. M. (2008). Predicting driving performance in older adults: we are not there yet! *Traffic Inj Prev*, 9(4), 336-341.
- Bell-McGinty, S., Podell, K., Franzen, M., Baird, A. D. et Williams, M. J. (2002). Standard measures of executive function in predicting instrumental activities of daily living in older adults. *Int J Geriatr Psychiatry*, 17(9), 828-834.

- Bherer, L. et Belleville, S. (2004). The Effect of Training on Preparatory Attention in Older Adults: Evidence for the Role of Uncertainty in Age-Related Preparatory Deficits. *Aging, Neuropsychology, and Cognition: A Journal on Normal and Dysfunctional Development*, 11(1), 37-50.
- Bherer, L., Belleville, S. et Hudon, C. (2004). [Executive function deficits in normal aging, Alzheimer's disease, and frontotemporal dementia]. *Psychol Neuropsychiatr Vieil*, 2(3), 181-189.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K. et Becic, E. (2005a). Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychol Aging*, 20(4), 695-709.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K. et Becic, E. (2005b). Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychol Aging*, 20(4), 695-709.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K. et Becic, E. (2006). Testing the limits of cognitive plasticity in older adults: application to attentional control. *Acta Psychol (Amst)*, 123(3), 261-278.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K. et Becic, E. (2008). Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Exp Aging Res*, 34(3), 188-219.
- Bielak, A. A., Hughes, T. F., Small, B. J. et Dixon, R. A. (2007). It's never too late to engage in lifestyle activities: significant concurrent but not change relationships between lifestyle activities and cognitive speed. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 62(6), P331-339.

- Bier, B., de Boysson, C. et Belleville, S. (2014). Identifying training modalities to improve multitasking in older adults. *Age (Dordr)*, 36(4), 9688.
- Ble, A., Volpato, S., Zuliani, G., Guralnik, J. M., Bandinelli, S., Lauretani, F., . . . Ferrucci, L. (2005). Executive function correlates with walking speed in older persons: the InCHIANTI study. *J Am Geriatr Soc*, 53(3), 410-415.
- Boot, W. R., Basak, C., Erickson, K. I., Neider, M., Simons, D. J., Fabiani, M., . . . Kramer, A. F. (2010a). Transfer of skill engendered by complex task training under conditions of variable priority. *Acta Psychol (Amst)*, 135(3), 349-357.
- Boot, W. R., Basak, C., Erickson, K. I., Neider, M., Simons, D. J., Fabiani, M., . . . Kramer, A. F. (2010b). Transfer of skill engendered by complex task training under conditions of variable priority. *Acta Psychol (Amst)*, 135(3), 349-357.
- Boot, W. R., Simons, D. J., Strothart, C. et Stutts, C. (2013). The pervasive problem with placebos in psychology: why active control groups are not sufficient to rule out placebo effects. *Perspectives on psychological science*, 8(4), 445-454.
- Booth, J., Paul, L., Rafferty, D. et Macinnes, C. (2013). The relationship between urinary bladder control and gait in women. *Neurourol Urodyn*, 32(1), 43-47.
- Borella, E., Carretti, B., Riboldi, F. et De Beni, R. (2010). Working memory training in older adults: evidence of transfer and maintenance effects. *Psychol Aging*, 25(4), 767-778.
- Boron, J. B., Turiano, N. A., Willis, S. L. et Schaie, K. W. (2007). Effects of cognitive training on change in accuracy in inductive reasoning ability. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 62(3), P179-186.

- Brehmer, Y., Westerberg, H. et Backman, L. (2012). Working-memory training in younger and older adults: training gains, transfer, and maintenance. *Front Hum Neurosci*, 6, 63.
- Broman, A. T., West, S. K., Munoz, B., Bandeen-Roche, K., Rubin, G. S. et Turano, K. A. (2004). Divided visual attention as a predictor of bumping while walking: the Salisbury Eye Evaluation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 45(9), 2955-2960.
- Buschkuhl, M., Jaeggi, S. M. et Jonides, J. (2012). Neuronal effects following working memory training. *Dev Cogn Neurosci*, 2 Suppl 1, S167-179.
- Cabeza, R. et Dennis, N. A. (2012). Frontal lobes and aging: deterioration and compensation. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principle of frontal lobe*. New York: Oxford University Press.
- Cahn-Weiner, D. A., Farias, S. T., Julian, L., Harvey, D. J., Kramer, J. H., Reed, B. R., . . . Chui, H. (2007). Cognitive and neuroimaging predictors of instrumental activities of daily living. *J Int Neuropsychol Soc*, 13(5), 747-757.
- Cahn-Weiner, D. A., Ready, R. E. et Malloy, P. F. (2003). Neuropsychological predictors of everyday memory and everyday functioning in patients with mild Alzheimer's disease. *J Geriatr Psychiatry Neurol*, 16(2), 84-89.
- Calero-Garcia, M. D., Navarro-Gonzalez, E. et Munoz-Manzano, L. (2007). Influence of level of activity on cognitive performance and cognitive plasticity in elderly persons. *Arch Gerontol Geriatr*, 45(3), 307-318.
- Cassavaugh, N. D. et Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics*, 40(5), 943-952.

- Cepeda, N. J., Kramer, A. F. et Gonzalez de Sather, J. C. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Dev Psychol*, 37(5), 715-730.
- Chaparro, A., Wood, J. M. et Carberry, T. (2005). Effects of age and auditory and visual dual tasks on closed-road driving performance. *Optom Vis Sci*, 82(8), 747-754.
- Chappell, N. L. et Hollander, M. J. (2011). An evidence-based policy prescription for an aging population. *Healthc Pap*, 11(1), 8-18.
- Chiarelli, P. E., Mackenzie, L. A. et Osmotherly, P. G. (2009). Urinary incontinence is associated with an increase in falls: a systematic review. *Aust J Physiother*, 55(2), 89-95.
- Christensen, H., Anstey, K. J., Parslow, R. A., Maller, J., Mackinnon, A. et Sachdev, P. (2007). The brain reserve hypothesis, brain atrophy and aging. *Gerontology*, 53(2), 82-95.
- Christensen, H., Korten, A., Jorm, A. F., Henderson, A. S., Scott, R. et Mackinnon, A. J. (1996). Activity levels and cognitive functioning in an elderly community sample. *Age Ageing*, 25(1), 72-80.
- Christensen, H. et Mackinnon, A. (1993). The association between mental, social and physical activity and cognitive performance in young and old subjects. *Age Ageing*, 22(3), 175-182.
- Clark, J. E., Lanphear, A. K. et Riddick, C. C. (1987). The effects of videogame playing on the response selection processing of elderly adults. *J Gerontol*, 42(1), 82-85.

- Clay, O. J., Wadley, V. G., Edwards, J. D., Roth, D. L., Roenker, D. L. et Ball, K. K. (2005). Cumulative meta-analysis of the relationship between useful field of view and driving performance in older adults: current and future implications. *Optom Vis Sci*, 82(8), 724-731.
- Collette, F., Olivier, L., Van der Linden, M., Laureys, S., Delfiore, G., Luxen, A. et Salmon, E. (2005). Involvement of both prefrontal and inferior parietal cortex in dual-task performance. *Brain Res Cogn Brain Res*, 24(2), 237-251.
- Coyne, K. S., Sexton, C. C., Irwin, D. E., Kopp, Z. S., Kelleher, C. J. et Milsom, I. (2008). The impact of overactive bladder, incontinence and other lower urinary tract symptoms on quality of life, work productivity, sexuality and emotional well-being in men and women: results from the EPIC study. *BJU Int*, 101(11), 1388-1395.
- Cramer, S. C., Sur, M., Dobkin, B. H., O'Brien, C., Sanger, T. D., Trojanowski, J. Q., . . . Vinogradov, S. (2011). Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain*, 134(Pt 6), 1591-1609.
- Crawford, S. M., Dickson, A. L. et Banos, J. H. (2000). A revised spatial serial learning and memory procedure using Corsi's Block-tapping apparatus. *Percept Mot Skills*, 91(2), 669-674.
- Crookall, D. (2010). Serious games, debriefing, and simulation/gaming as a discipline. *Simulation & gaming*, 41(6), 898-920.
- Crowe, M., Andel, R., Pedersen, N. L., Johansson, B. et Gatz, M. (2003). Does participation in leisure activities lead to reduced risk of Alzheimer's disease? A prospective study of Swedish twins. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 58(5), P249-255.

- Cumming, R. G., Salkeld, G., Thomas, M. et Szonyi, G. (2000). Prospective study of the impact of fear of falling on activities of daily living, SF-36 scores, and nursing home admission. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55(5), M299-305.
- Czaja, S. J. et Lee, C. C. (2007). The impact of aging on access to technology. *Universal Access in the Information Society*, 5(4), 341-349.
- D'Esposito, M., Detre, J. A., Alsop, D. C., Shin, R. K., Atlas, S. et Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, 378(6554), 279-281.
- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Backman, L. et Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, 320(5882), 1510-1512.
- Daigneault, G., Joly, P. et Frigon, J. Y. (2002). Executive functions in the evaluation of accident risk of older drivers. *J Clin Exp Neuropsychol*, 24(2), 221-238.
- Davidson, D. J., Zacks, R. T. et Williams, C. C. (2003). Stroop interference, practice, and aging. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn*, 10(2), 85-98.
- de Frias, C. M., Lövdén, M., Lindenberger, U. et Nilss, L.-G. (2007). Revisiting the dedifferentiation hypothesis with longitudinal multi-cohort data. *Intelligence*, 35, 381-392.
- Della Sala, S., Baddeley, A., Papagno, C. et Spinnler, H. (1995). Dual-task paradigm: a means to examine the central executive. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 161-171.
- Denney, N. W. (1980). Task demands and problem-solving strategies in middle-aged and older adults. *J Gerontol*, 35(4), 559-564.

- Dennis, N. A. et Cabeza, R. (2000). Neuroimaging of healthy cognitive aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of aging and cognition - Third edition* (pp. 1-54). New York: Psychology Press.
- Desjardins-Crépeau, L., Berryman, N., Vu, T. T., Villalpando, J.-M., Kergoat, M.-J., Li, K. Z., . . . Bherer, L. (2014). Physical Functioning Is Associated With Processing Speed and Executive Functions in Community-Dwelling Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series B*.
- Detterman, D. K. et Sternberg, R. J. (1993). *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction*. Westport, CT: Ablex Publishing.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annu Rev Psychol*, 64, 135-168.
- Donchin, E. (1989). The learning strategies project: Introductory remarks. *Acta Psychologica. Special Issue: The Learning Strategies Program: An Examination of the Strategies in Skill Acquisition*, 71(1-3), 1-15.
- Dunlosky, J., Hertzog, C. et Powell-Moman, A. (2005). The contribution of mediator-based deficiencies to age differences in associative learning. *Dev Psychol*, 41(2), 389-400.
- Dunlosky, J., Kubat-Silman, A. K. et Hertzog, C. (2003). Training monitoring skills improves older adults' self-paced associative learning. *Psychol Aging*, 18(2), 340-345.
- Dustman, R. E., Emmerson, R. Y., Steinhaus, L. A., Shearer, D. E. et Dustman, T. J. (1992). The effects of videogame playing on neuropsychological performance of elderly individuals. *J Gerontol*, 47(3), P168-171.

- Dux, P. E., Ivanoff, J., Asplund, C. L. et Marois, R. (2006). Isolation of a central bottleneck of information processing with time-resolved fMRI. *Neuron*, 52(6), 1109-1120.
- Dux, P. E., Tombu, M. N., Harrison, S., Rogers, B. P., Tong, F. et Marois, R. (2009). Training improves multitasking performance by increasing the speed of information processing in human prefrontal cortex. *Neuron*, 63(1), 127-138.
- Edwards, J. D., Wadley, V. G., Vance, D. E., Wood, K., Roenker, D. L. et Ball, K. K. (2005). The impact of speed of processing training on cognitive and everyday performance. *Aging Ment Health*, 9(3), 262-271.
- 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, 305-307.
- Engström, J., Johansson, E. et Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F* 8, 97-120.
- Erez, M., Gopher, D. et Arzi, N. (1990). Effects of goal difficulty, self-set goals, and monetary rewards on dual task performance. . *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 47, 247-269.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., . . . Kramer, A. F. (2007a). Training-induced functional activation changes in dual-task processing: an fMRI study. *Cereb Cortex*, 17(1), 192-204.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., . . . Kramer, A. F. (2007b). Training-induced plasticity in older adults: effects of training on hemispheric asymmetry. *Neurobiol Aging*, 28(2), 272-283.

- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E. et Kramer, A. F. (2005). Neural correlates of dual-task performance after minimizing task-preparation. *Neuroimage*, 28(4), 967-979.
- Fahle, M. (2004). Perceptual learning: a case for early selection. *J Vis*, 4(10), 879-890.
- Farias, S. T., Mungas, D., Reed, B. R., Harvey, D. et DeCarli, C. (2009). Progression of mild cognitive impairment to dementia in clinic- vs community-based cohorts. *Arch Neurol*, 66(9), 1151-1157.
- Fiorentini, A. et Berardi, N. (1981). Learning in grating waveform discrimination: specificity for orientation and spatial frequency. *Vision Res*, 21(7), 1149-1158.
- Fisk, A. D., Hertzog, C., Lee, M. D., Rogers, W. A. et Anderson-Garlach, M. (1994). Long-term retention of skilled visual search: do young adults retain more than old adults? *Psychol Aging*, 9(2), 206-215.
- Ford, J. K. et Weissbein, D. A. (1997). Transfer of training: An updated review and analysis. *Performance Improvement Quarterly*, 10(2), 22-41.
- Franzoni, S., Rozzini, R., Boffelli, S., Frisoni, G. B. et Trabucchi, M. (1994). Fear of falling in nursing home patients. *Gerontology*, 40(1), 38-44.
- Fraser, S. A., Elliott, V., de Bruin, E., Bherer, L. et Dumoulin, C. (2014). The Effects of Combining Videogame Dancing and Pelvic Floor Training to Improve Dual-Task Gait and Cognition in Women with Mixed-Urinary Incontinence. *GAMES FOR HEALTH JOURNAL: Research, Development, and Clinical Applications*, 3(3), 1-7.

- Fraser, S. A., Li, K. Z., DeMont, R. G. et Penhune, V. B. (2007). Effects of balance status and age on muscle activation while walking under divided attention. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 62(3), P171-178.
- Gaspar, J. G., Neider, M. B. et Kramer, A. F. (2013). Falls risk and simulated driving performance in older adults. *J Aging Res*, 2013, 356948.
- Geusgens, C. A., Winkens, I., van Heugten, C. M., Jolles, J. et van den Heuvel, W. J. (2007). Occurrence and measurement of transfer in cognitive rehabilitation: A critical review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 39(6), 425-439.
- Gillespie, L. D., Robertson, M. C., Gillespie, W. J., Lamb, S. E., Gates, S., Cumming, R. G. et Rowe, B. H. (2009). Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev*(2), CD007146.
- Glass, J. M., Schumacher, E. H., Lauber, E. J., Zurbriggen, E. L., Gmeindl, L., Kieras, D. E. et Meyer, D. E. (2000). Aging and the psychological refractory period: task-coordination strategies in young and old adults. *Psychol Aging*, 15(4), 571-595.
- Goldberg, T. E., Berman, K. F., Fleming, K., Ostrem, J., Van Horn, J. D., Esposito, G., . . . Weinberger, D. R. (1998). Uncoupling cognitive workload and prefrontal cortical physiology: a PET rCBF study. *Neuroimage*, 7(4 Pt 1), 296-303.
- Goldstein, J., Cajko, L., Oosterbroek, M., Michielsen, M., Van Houten, O. et Salverda, F. (1997). Video games and the elderly. *Social behavior and personality*, 25(4), 345-352.
- Gopher, D. (2007). Emphasis Change as a Training Protocol for High-Demand Tasks. In A. F. Kramer, D. A. Wiegmann & A. Kirlik (Eds.), *Attention: from theory to practice* (pp. 209-224). New York: Oxford University Press.

- Green, C. S.etBavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534-537.
- Green, C. S.etBavelier, D. (2006). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 32(6), 1465-1478.
- Green, C. S.etBavelier, D. (2008a). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychol Aging*, 23(4), 692-701.
- Green, C. S.etBavelier, D. (2008b). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychol Aging*, 23(4), 692-701.
- Greenwood, P. M.etParasuraman, R. (2010). Neuronal and cognitive plasticity: a neurocognitive framework for ameliorating cognitive aging. *Front Aging Neurosci*, 2, 150.
- Grenier, S., Payette, M. C., Langlois, F., Vu, T. T.etBherer, L. (2014). Depressive symptoms are independently associated with recurrent falls in community-dwelling older adults. *Int Psychogeriatr*, 1-9.
- Gugerty, L. (2011). Situation awareness in driving. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird & J. D. Lee (Eds.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology* (pp. 265-272). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Hagglund, D., Walker-Engstrom, M. L., Larsson, G.etLeppert, J. (2001). Quality of life and seeking help in women with urinary incontinence. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 80(11), 1051-1055.
- Harbluk, J. L., Noy, Y. I., Trbovich, P. L.etEizenman, M. (2007). An on-road assessment of cognitive distraction: impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accid Anal Prev*, 39(2), 372-379.

- Harrison, T. L., Shipstead, Z., Hicks, K. L., Hambrick, D. Z., Redick, T. S. et Engle, R. W. (2013). Working memory training may increase working memory capacity but not fluid intelligence. *Psychol Sci*, 24(12), 2409-2419.
- Hartley, A. A. (2001). Age differences in dual-task interference are localized to response-generation processes. *Psychol Aging*, 16(1), 47-54.
- Hartley, A. A. et Little, D. M. (1999). Age-related differences and similarities in dual-task interference. *J Exp Psychol Gen*, 128(4), 416-449.
- Hartley, A. A. et Maquestiaux, F. (2007). Success and failure at dual-task coordination by younger and older adults. *Psychol Aging*, 22(2), 215-222.
- Harvey, J., Finney, S., Stewart, L. et Gillespie, J. (2012). The relationship between cognition and sensation in determining when and where to void: the concept of cognitive voiding. *BJU Int*, 110(11), 1756-1761.
- Hausdorff, J. M., Doniger, G. M., Springer, S., Yogev, G., Simon, E. S. et Giladi, N. (2006). A common cognitive profile in elderly fallers and in patients with Parkinson's disease: the prominence of impaired executive function and attention. *Exp Aging Res*, 32(4), 411-429.
- Hazeltine, E., Diedrichsen, J., Kennerley, S. W. et Ivry, R. B. (2003). Bimanual cross-talk during reaching movements is primarily related to response selection, not the specification of motor parameters. *Psychol Res*, 67(1), 56-70.
- Hazeltine, E., Teague, D. et Ivry, R. B. (2002). Simultaneous dual-task performance reveals parallel response selection after practice. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 28(3), 527-545.
- Hein, G. et Schubert, T. (2004). Aging and input processing in dual-task situations. *Psychol Aging*, 19(3), 416-432.

- Herath, P., Klingberg, T., Young, J., Amunts, K. et Roland, P. (2001). Neural correlates of dual task interference can be dissociated from those of divided attention: an fMRI study. *Cereb Cortex*, *11*(9), 796-805.
- Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S. et Lindenberger, U. (2009). Enrichment effects on adult cognitive development. *Psychological Science in the Public Interest*, *9*, 1-65.
- Hibberd, D. L., Jamson, S. L. et Carsten, O. M. J. (2013). Mitigating the effects of in-vehicle distractions through use of the Psychological Refractory Period paradigm. *Accident Analysis & Prevention*, *50*, 1096-1103.
- Ho, G. et Scialfa, C. T. (2002). Age skill transfer and conjunction search. *Journal of gerontology : Psychology Sciences*, *57B*, 277-287.
- Hoffman, L., McDowd, J. M., Atchley, P. et Dubinsky, R. (2005). The role of visual attention in predicting driving impairment in older adults. *Psychol Aging*, *20*(4), 610-622.
- Hollman, J. H., Kovash, F. M., Kubik, J. J. et Linbo, R. A. (2007). Age-related differences in spatiotemporal markers of gait stability during dual task walking. *Gait Posture*, *26*(1), 113-119.
- Holtzer, R., Stern, Y. et Rakitin, B. C. (2005). Predicting age-related dual-task effects with individual differences on neuropsychological tests. *Neuropsychology*, *19*(1), 18-27.
- Hoyer, W. J. et Verhaeghen, P. (2006). Memory aging. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 209-233). San Diego: Elsevier.

- Hsieh, L., Young, R. A., Bowyer, S. M., Moran, J. E., Genik, R. J., 2nd, Green, C. C., . . . Seaman, S. (2009). Conversation effects on neural mechanisms underlying reaction time to visual events while viewing a driving scene: fMRI analysis and asynchrony model. *Brain Res*, 1251, 162-175.
- 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. *J Gerontol*, 48(1), P1-11.
- 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? *Psychol Aging*, 14(2), 245-263.
- Huxhold, O., Li, S. C., Schmiedek, F. et Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Res Bull*, 69(3), 294-305.
- Institut canadien d'information sur la santé. (2011).
Les soins de santé au Canada 2011 : regard sur les personnes âgées et le vieillissement.
- Iqbal, S. T., Ju, J.-C. et Horvitz, E. (2010). Cars, Calls, and Cognition: Investigating Driving and Divided Attention. *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J. et Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 105(19), 6829-6833.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Shah, P. et Jonides, J. (2014). The role of individual differences in cognitive training and transfer. *Mem Cognit*, 42(3), 464-480.

- Jaeggi, S. M., Seewer, R., Nirkko, A. C., Eckstein, D., Schroth, G., Groner, R. et Gutbrod, K. (2003). Does excessive memory load attenuate activation in the prefrontal cortex? Load-dependent processing in single and dual tasks: functional magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, *19*(2 Pt 1), 210-225.
- James, B. D., Wilson, R. S., Barnes, L. L. et Bennett, D. A. (2011). Late-life social activity and cognitive decline in old age. *J Int Neuropsychol Soc*, *17*(6), 998-1005.
- Jefferson, A. L., Paul, R. H., Ozonoff, A. et Cohen, R. A. (2006). Evaluating elements of executive functioning as predictors of instrumental activities of daily living (IADLs). *Arch Clin Neuropsychol*, *21*(4), 311-320.
- Jenkins, L. et Hoyer, W. J. (2000). Instance-based automaticity and aging: acquisition, reacquisition, and long-term retention. *Psychol Aging*, *15*(3), 551-565.
- Jiang, Y. (2004). Resolving dual-task interference: an fMRI study. *Neuroimage*, *22*(2), 748-754.
- Johnson, J. K., Lui, L. Y. et Yaffe, K. (2007). Executive function, more than global cognition, predicts functional decline and mortality in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, *62*(10), 1134-1141.
- Jones, S., Nyberg, L., Sandblom, J., Stigsdotter Neely, A., Ingvar, M., Magnus Petersson, K. et Backman, L. (2006). Cognitive and neural plasticity in aging: general and task-specific limitations. *Neurosci Biobehav Rev*, *30*(6), 864-871.
- Jopp, D. et Hertzog, C. (2007). Activities, self-referent memory beliefs, and cognitive performance: evidence for direct and mediated relations. *Psychol Aging*, *22*(4), 811-825.

- Jousse, M., Verollet, D., Guinet-Lacoste, A., Le Breton, F., Auclair, L., Sheikh Ismael, S. et Amarengo, G. (2013). Need to void and attentional process interrelationships. *BJU Int*, 112(4), E351-357.
- Jurado, M. B. et Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychol Rev*, 17(3), 213-233.
- Just, M. A., Carpenter, P. A., Keller, T. A., Emery, L., Zajac, H. et Thulborn, K. R. (2001). Interdependence of nonoverlapping cortical systems in dual cognitive tasks. *Neuroimage*, 14(2), 417-426.
- Just, M. A., Keller, T. A. et Cynkar, J. (2008). A decrease in brain activation associated with driving when listening to someone speak. *Brain Res*, 1205, 70-80.
- Karbach, J. et Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Dev Sci*, 12(6), 978-990.
- Karbach, J., Mang, S. et Kray, J. (2010). Transfer of task-switching training in older age: the role of verbal processes. *Psychol Aging*, 25(3), 677-683.
- Karbach, J. et Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: a meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychol Sci*, 25(11), 2027-2037.
- Karni, A. et Sagi, D. (1991). Where practice makes perfect in texture discrimination: evidence for primary visual cortex plasticity. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 88(11), 4966-4970.
- Keith, N., Richter, T. et Naumann, J. (2010). Active/Exploratory training promotes transfer even in learners low motivation and cognitive ability. *Applied Psychology: An International Review*, 59(1), 97-123.

- Klingberg, T., Forssberg, H. et Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *J Clin Exp Neuropsychol*, 24(6), 781-791.
- Koechlin, E., Basso, G., Pietrini, P., Panzer, S. et Grafman, J. (1999). The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition. *Nature*, 399(6732), 148-151.
- Kramer, A. F., Hahn, S. et Gopher, D. (1999). Task coordination and aging: explorations of executive control processes in the task switching paradigm. *Acta Psychol (Amst)*, 101(2-3), 339-378.
- Kramer, A. F., Larish, J. F. et Strayer, D. L. (1995a). Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1, 50-76.
- Kramer, A. F., Larish, J. F. et Strayer, D. L. (1995b). Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1, 50-76.
- Kramer, A. F., Larish, J. L., Weber, T. A. et Bardell, L. (1999). Training for executive control. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 617- 652). Cambridge: MA: MIT Press.
- Kray, J., Eber, J. et Karbach, J. (2008). Verbal self-instructions in task switching: a compensatory tool for action-control deficits in childhood and old age? *Dev Sci*, 11(2), 223-236.
- Kray, J. et Eppinger, B. (2006). Effects of associative learning on age differences in task-set switching. *Acta Psychol (Amst)*, 123(3), 187-203.
- Kueider, A. M., Parisi, J. M., Gross, A. L. et Rebok, G. W. (2012). Computerized cognitive training with older adults: a systematic review. *PLoS One*, 7(7), e40588.

- Lengenfelder, J., Schultheis, M. T., Al-Shihabi, T., Mourant, R. et DeLuca, J. (2002). Divided attention and driving: a pilot study using virtual reality technology. *J Head Trauma Rehabil*, 17(1), 26-37.
- Lewis, M. S., Snyder, P. J., Pietrzak, R. H., Darby, D., Feldman, R. A. et Maruff, P. (2011). The effect of acute increase in urge to void on cognitive function in healthy adults. *Neurourol Urodyn*, 30(1), 183-187.
- Lezak, M. (2004). *Neuropsychological Assessment IV*. New York: Oxford University Press.
- Li, K. Z., Lindenberger, U., Freund, A. M. et Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: age-related differences in compensatory behavior. *Psychol Sci*, 12(3), 230-237.
- Li, K. Z., Roudaia, E., Lussier, M., Bherer, L., Leroux, A. et McKinley, P. A. (2010). Benefits of cognitive dual-task training on balance performance in healthy older adults. *Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences*, 65(12), 1344-1352.
- Li, S. C., Schmiedek, F., Huxhold, O., Rocke, C., Smith, J. et Lindenberger, U. (2008). Working memory plasticity in old age: practice gain, transfer, and maintenance. *Psychol Aging*, 23(4), 731-742.
- Liepelt, R., Strobach, T., Frensch, P. et Schubert, T. (2011). Improved intertask coordination after extensive dual-task practice. *Q J Exp Psychol (Hove)*, 64(7), 1251-1272.
- Lindenberger, U. (2014). Human cognitive aging: corriger la fortune? *Science*, 346(6209), 572-578.

- Lindenberger, U., Marsiske, M. et Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychol Aging, 15*(3), 417-436.
- Logie, R. H., Cocchini, G., Delia Sala, S. et Baddeley, A. D. (2004). Is there a specific executive capacity for dual task coordination? Evidence from Alzheimer's disease. *Neuropsychology, 18*(3), 504-513.
- Lovden, M., Brehmer, Y., Li, S. C. et Lindenberger, U. (2012). Training-induced compensation versus magnification of individual differences in memory performance. *Front Hum Neurosci, 6*, 141.
- Lovden, M., Ghisletta, P. et Lindenberger, U. (2005). Social participation attenuates decline in perceptual speed in old and very old age. *Psychol Aging, 20*(3), 423-434.
- Lundin-Olsson, L., Nyberg, L. et Gustafson, Y. (1997). "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. *Lancet, 349*(9052), 617.
- Lussier, M., Gagnon, C. et Bherer, L. (2012). An investigation of response and stimulus modality transfer effects after dual-task training in younger and older. *Front Hum Neurosci, 6*, 129.
- Lussier, M., Renaud, M., Chiva-Razavi, S., Bherer, L. et Dumoulin, C. (2013). Are stress and mixed urinary incontinence associated with impaired executive control in community-dwelling older women? *J Clin Exp Neuropsychol, 35*(5), 445-454.
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R. et Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychol Rev, 19*(4), 504-522.
- Mackinnon, A., Christensen, H., Hofer, S. M., Korten, A. E. et Jorm, A. F. (2006). Use It and Still Lose It? The Association Between Activity and Cognitive Performance

- Established Using Latent Growth Techniques in a Community Sample. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 10(3), 215-229.
- Maehara, G. et Goryo, K. (2003). Perceptual learning in visual backward pattern masking. *Percept Mot Skills*, 97(3 Pt 2), 1137-1149.
- Maillot, P., Perrot, A. et Hartley, A. (2012). [The effects of video games on cognitive aging]. *Geriatr Psychol Neuropsychiatr Vieil*, 10(1), 83-94.
- Maquestiaux, F., Hartley, A. A. et Bertsch, J. (2004). Can practice overcome age-related differences in the psychological refractory period effect? *Psychol Aging*, 19(4), 649-667.
- Maquestiaux, F., Lague-Beauvais, M., Ruthruff, E., Hartley, A. et Bherer, L. (2010). Learning to bypass the central bottleneck: declining automaticity with advancing age. *Psychol Aging*, 25(1), 177-192.
- Margolis, K. L., Kerani, R. P., McGovern, P., Songer, T., Cauley, J. A., Ensrud, K. E. et Study Of Osteoporotic Fractures Research, G. (2002). Risk factors for motor vehicle crashes in older women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 57(3), M186-191.
- Marmeleira, J. F., Godinho, M. B. et Fernandes, O. M. (2009). The effects of an exercise program on several abilities associated with driving performance in older adults. *Accid Anal Prev*, 41(1), 90-97.
- McCabe, D. P., Roediger, H. L., McDaniel, M. A., Balota, D. A. et Hambrick, D. Z. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology*, 24(2), 222-243.

- McDowd, L. et Shaw, R. (2000). Attention and aging: A functional perspective. The handbook of aging and cognition. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition*. Mahway, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- McKee, S. P. et Westheimer, G. (1978). Improvement in vernier acuity with practice. *Percept Psychophys*, 24(3), 258-262.
- McKnight, A. J. et McKnight, A. S. (1993). The effect of cellular phone use upon driver attention. *Accid Anal Prev*, 25(3), 259-265.
- Melby-Lervag, M. et Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Dev Psychol*, 49(2), 270-291.
- Mendes de Leon, C. F., Seeman, T. E., Baker, D. I., Richardson, E. D. et Tinetti, M. E. (1996). Self-efficacy, physical decline, and change in functioning in community-living elders: a prospective study. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 51(4), S183-190.
- Mercado, E., 3rd. (2008). Neural and cognitive plasticity: from maps to minds. *Psychol Bull*, 134(1), 109-137.
- Merriam, S. B. et Leahy, B. (2005). Learning transfer: A review of the research in adult education and training. *PAACE Journal of Lifelong Learning*, 14, 1-24.
- Meyer, D. E. et Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychol Rev*, 104(1), 3-65.
- Milsom, I. (2009). Lower urinary tract symptoms in women. *Curr Opin Urol*, 19(4), 337-341.

- Minear, M.etShah, P. (2008). Training and transfer effects in task switching. *Mem Cognit*, 36(8), 1470-1483.
- Miyake, A.etFriedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Curr Dir Psychol Sci*, 21(1), 8-14.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A.etWager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol*, 41(1), 49-100.
- Mladenovic Segedi, L., Segedi, D.etParezanovic Ilic, K. (2011). Quality of life in women with urinary incontinence. *Med Glas (Zenica)*, 8(2), 237-242.
- Mohs, R. C., Ashman, T. A., Jantzen, K., Albert, M., Brandt, J., Gordon, B., . . . Stern, Y. (1998). A study of the efficacy of a comprehensive memory enhancement program in healthy elderly persons. *Psychiatry Res*, 77(3), 183-195.
- Morris, V.etWagg, A. (2007). Lower urinary tract symptoms, incontinence and falls in elderly people: time for an intervention study. *Int J Clin Pract*, 61(2), 320-323.
- Motta, M., Bennati, E., Ferlito, L., Malaguarnera, M., Motta, L.etItalian Multicenter Study on, C. (2005). Successful aging in centenarians: myths and reality. *Arch Gerontol Geriatr*, 40(3), 241-251.
- Mowszowski, L., Batchelor, J.etNaismith, S. L. (2010). Early intervention for cognitive decline: can cognitive training be used as a selective prevention technique? *Int Psychogeriatr*, 22(4), 537-548.
- Navon, D.etMiller, J. (2002). Queuing or sharing? A critical evaluation of the single-bottleneck notion. *Cogn Psychol*, 44(3), 193-251.

- Neely, A. S. et Backman, L. (1993). Long-term maintenance of gains from memory training in older adults: two 3 1/2-year follow-up studies. *J Gerontol*, 48(5), P233-237.
- Newson, R. S. et Kemps, E. B. (2005). General lifestyle activities as a predictor of current cognition and cognitive change in older adults: a cross-sectional and longitudinal examination. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 60(3), P113-120.
- Newson, R. S. et Kemps, E. B. (2006). The influence of physical and cognitive activities on simple and complex cognitive tasks in older adults. *Exp Aging Res*, 32(3), 341-362.
- Noack, H., Lovden, M. et Schmiedek, F. (2014). On the validity and generality of transfer effects in cognitive training research. *Psychol Res*.
- Noack, H., Lovden, M., Schmiedek, F. et Lindenberger, U. (2009). Cognitive plasticity in adulthood and old age: gauging the generality of cognitive intervention effects. *Restor Neurol Neurosci*, 27(5), 435-453.
- Noice, H., Noice, T. et Staines, G. (2004). A short-term intervention to enhance cognitive and affective functioning in older adults. *J Aging Health*, 16(4), 562-585.
- Nyberg, L., Sandblom, J., Jones, S., Neely, A. S., Petersson, K. M., Ingvar, M. et Backman, L. (2003). Neural correlates of training-related memory improvement in adulthood and aging. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100(23), 13728-13733.
- Olesen, P. J., Westerberg, H. et Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nat Neurosci*, 7(1), 75-79.
- Organisation mondiale de la santé. (2014). 10 facts on ageing and the life course.

- Ostbye, T., Hunskaar, S. et Sykes, E. (2000). Predictors and incidence of urinary incontinence in elderly Canadians with and without dementia—a five-year follow up: the Canadian Study of Health and Aging. *Canadian Journal on Aging, 21*, 95-102.
- Oswald, W. D., Rupperecht, R., Gunzelmann, T. et Tritt, K. (1996). The SIMA-project: effects of 1 year cognitive and psychomotor training on cognitive abilities of the elderly. *Behav Brain Res, 78*(1), 67-72.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., . . . Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature, 465*(7299), 775-778.
- Palmer, M. H., Baumgarten, M., Langenberg, P. et Carson, J. L. (2002). Risk factors for hospital-acquired incontinence in elderly female hip fracture patients. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 57*(10), M672-677.
- Parasuraman, R. et Giambra, L. (1991). Skill development in vigilance: effects of event rate and age. *Psychol Aging, 6*(2), 155-169.
- Park, D. C. et Bischof, G. N. (2013). The aging mind: neuroplasticity in response to cognitive training. *Dialogues Clin Neurosci, 15*(1), 109-119.
- Park, D. C. et Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annu Rev Psychol, 60*, 173-196.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychol Bull, 116*(2), 220-244.
- Patel, R., Spreng, R. N. et Turner, G. R. (2013). Functional brain changes following cognitive and motor skills training: a quantitative meta-analysis. *Neurorehabil Neural Repair, 27*(3), 187-199.

- Payne, B. R., Jackson, J. J., Hill, P. L., Gao, X., Roberts, B. W. et Stine-Morrow, E. A. (2012). Memory self-efficacy predicts responsiveness to inductive reasoning training in older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 67(1), 27-35.
- Pellecchia, G. L. (2005). Dual-task training reduces impact of cognitive task on postural sway. *J Mot Behav*, 37(3), 239-246.
- Pereira, F. S., Yassuda, M. S., Oliveira, A. M. et Forlenza, O. V. (2008). Executive dysfunction correlates with impaired functional status in older adults with varying degrees of cognitive impairment. *Int Psychogeriatr*, 20(6), 1104-1115.
- Peretti, C. S., Danion, J. M., Gierski, F. et Grange, D. (2002). Cognitive skill learning and aging: a component process analysis. *Arch Clin Neuropsychol*, 17(5), 445-459.
- Persad, C. C., Giordani, B., Chen, H. C., Ashton-Miller, J. A., Alexander, N. B., Wilson, C. S., . . . Schultz, A. B. (1995). Neuropsychological predictors of complex obstacle avoidance in healthy older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 50(5), P272-277.
- Persson, J. et Reuter-Lorenz, P. A. (2008). Gaining control: training executive function and far transfer of the ability to resolve interference. *Psychol Sci*, 19(9), 881-888.
- Rait, G., Fletcher, A., Smeeth, L., Brayne, C., Stirling, S., Nunes, M., . . . Tulloch, A. J. (2005). Prevalence of cognitive impairment: results from the MRC trial of assessment and management of older people in the community. *Age Ageing*, 34(3), 242-248.
- Ramachandran, V. S. et Braddick, O. (1973). Orientation-specific learning in stereopsis. *Perception*, 2(3), 371-376.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: integration of structural and functional findings. . In F. I. M. Craik & T. A.

- Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 1-90). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rebok, G. W., Carlson, M. C. et Langbaum, J. B. (2007). Training and maintaining memory abilities in healthy older adults: traditional and novel approaches. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 62 Spec No 1, 53-61.
- Rebok, G. W., Langbaum, J. B., Jones, R. N., Gross, A. L., Parisi, J. M., Spira, A. P., . . . Brandt, J. (2013). Memory training in the ACTIVE study: how much is needed and who benefits? *J Aging Health*, 25(8 Suppl), 21S-42S.
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., . . . Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: a randomized, placebo-controlled study. *J Exp Psychol Gen*, 142(2), 359-379.
- Roenker, D. L., Cissell, G. M., Ball, K. K., Wadley, V. G. et Edwards, J. D. (2003). Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Hum Factors*, 45(2), 218-233.
- Royall, D. R., Palmer, R., Chiodo, L. K. et Polk, M. J. (2004). Declining executive control in normal aging predicts change in functional status: the Freedom House Study. *J Am Geriatr Soc*, 52(3), 346-352.
- Ruthruff, E., Pashler, H. E. et Hazeltine, E. (2003). Dual-task interference with equal task emphasis: graded capacity sharing or central postponement? *Percept Psychophys*, 65(5), 801-816.
- Ruthruff, E., Pashler, H. E. et Klaassen, A. (2001). Processing bottlenecks in dual-task performance: structural limitation or strategic postponement? *Psychon Bull Rev*, 8(1), 73-80.

- Ruthruff, E., Van Selst, M., Johnston, J. C. et Remington, R. (2006). How does practice reduce dual-task interference: integration, automatization, or just stage-shortening? *Psychol Res*, 70(2), 125-142.
- Saczynski, J. S., Willis, S. L. et Schaie, K. W. (2002). Strategy use in reasoning training with older adults. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 9(1), 48-60.
- Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibanez, V., Deiber, M. P., Dold, G. et Hallett, M. (1996). Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*, 380(6574), 526-528.
- Saffell, T. et Matthews, N. (2003). Task-specific perceptual learning on speed and direction discrimination. *Vision Res*, 43(12), 1365-1374.
- Salas, E., Tannenbaum, S. I., Kraiger, K. et Smith-Jentsch, A. F. (2012). The science of training and development in organizations: what matters in practice. *Psychological Science in the Public Interest*, 13(2), 74-101.
- 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. *J Exp Psychol Gen*, 132(4), 566-594.
- Salthouse, T. A. et Miles, J. D. (2002). Aging and time-sharing aspects of executive control. *Mem Cognit*, 30(4), 572-582.
- 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(12), 2236-2242.
- Schinka, J. A., McBride, A., Vanderploeg, R. D., Tennyson, K., Borenstein, A. R. et Mortimer, J. A. (2005). Florida Cognitive Activities Scale: initial development and validation. *J Int Neuropsychol Soc*, 11(1), 108-116.

- Schmidt, R. A. et Bjork, R. A. (1992). New Conceptualizations of Practice: Common Principles in Three Paradigms Suggest New Concepts for Training. *Psychological Science*, 3(4), 207-217.
- Schmiedek, F., Lovden, M. et Lindenberger, U. (2010). Hundred Days of Cognitive Training Enhance Broad Cognitive Abilities in Adulthood: Findings from the COGITO Study. *Front Aging Neurosci*, 2.
- Schmiedek, F., Lovden, M. et Lindenberger, U. (2014). Younger adults show long-term effects of cognitive training on broad cognitive abilities over 2 years. *Dev Psychol*, 50(9), 2304-2310.
- Schubert, T. et Szameitat, A. J. (2003). Functional neuroanatomy of interference in overlapping dual tasks: an fMRI study. *Brain Res Cogn Brain Res*, 17(3), 733-746.
- Schumacher, E. H., Seymour, T. L., Glass, J. M., Fencsik, D. E., Lauber, E. J., Kieras, D. E. et Meyer, D. E. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance: uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychol Sci*, 12(2), 101-108.
- Sekuler, A. B., Bennett, P. J. et Mamelak, M. (2000). Effects of aging on the useful field of view. *Exp Aging Res*, 26(2), 103-120.
- Sifrit, K. J. (2005). *The Effect of Aging and Cognitive Decrements on Simulated Driving Performance*. (Doctor of Philosophy), Wichita State University, Kansas.
- Sigman, M. et Dehaene, S. (2008). Brain mechanisms of serial and parallel processing during dual-task performance. *J Neurosci*, 28(30), 7585-7598.
- Silsupadol, P., Lugade, V., Shumway-Cook, A., van Donkelaar, P., Chou, L. S., Mayr, U. et Woollacott, M. H. (2009). Training-related changes in dual-task

walking performance of elderly persons with balance impairment: a double-blind, randomized controlled trial. *Gait Posture*, 29(4), 634-639.

Silsupadol, P., Shumway-Cook, A., Lugade, V., van Donkelaar, P., Chou, L. S., Mayr, U. et Woollacott, M. H. (2009). Effects of single-task versus dual-task training on balance performance in older adults: a double-blind, randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 90(3), 381-387.

Silsupadol, P., Siu, K. C., Shumway-Cook, A. et Woollacott, M. H. (2006). Training of balance under single- and dual-task conditions in older adults with balance impairment. *Phys Ther*, 86(2), 269-281.

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 Aging Study (BASE). *Psychol Aging*, 18(2), 318-331.

Small, B. J., Dixon, R. A. et McArdle, J. J. (2011). Tracking cognition-health changes from 55 to 95 years of age. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 66 Suppl 1, i153-161.

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.

Soderlund, H., Nyberg, L. et Nilsson, L. G. (2004). Cerebral atrophy as predictor of cognitive function in old, community-dwelling individuals. *Acta Neurol Scand*, 109(6), 398-406.

Springer, S., Giladi, N., Peretz, C., Yogev, G., Simon, E. S. et Hausdorff, J. M. (2006). Dual-tasking effects on gait variability: the role of aging, falls, and executive function. *Mov Disord*, 21(7), 950-957.

- Stelzel, C., Brandt, S. A. et Schubert, T. (2009). Neural mechanisms of concurrent stimulus processing in dual tasks. *Neuroimage*, 48(1), 237-248.
- Stern, Y. (2003). The concept of cognitive reserve: a catalyst for research. *J Clin Exp Neuropsychol*, 25(5), 589-593.
- Stern, Y. (2013). Cognitive reserve: implications for assessment and intervention. *Folia Phoniatr Logop*, 65(2), 49-54.
- Stine-Morrow, E. A., Parisi, J. M., Morrow, D. G. et Park, D. C. (2008). The effects of an engaged lifestyle on cognitive vitality: a field experiment. *Psychol Aging*, 23(4), 778-786.
- Strayer, D. L. et Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: dual-Task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychol Sci*, 12(6), 462-466.
- Strobach, T., Liepelt, R., Pashler, H., Frensch, P. A. et Schubert, T. (2013). Effects of extensive dual-task practice on processing stages in simultaneous choice tasks. *Atten Percept Psychophys*, 75(5), 900-920.
- Strobach, T., Liepelt, R., Schubert, T. et Kiesel, A. (2012). Task switching: effects of practice on switch and mixing costs. *Psychol Res*, 76(1), 74-83.
- Szameitat, A., Schubert, K. R., Muller, K. et Von Cramon, D. Y. (2002). Localization of executive functions in dual-task performance with fMRI. *J Cogn Neurosci*, 14(8), 1184-1199.
- Szameitat, A. J., Lepsien, J., Cramon, D. Y., Sterr, A. et Schubert, T. (2006). Task-order coordination in dual-task performance and the lateral prefrontal cortex: an event-related fMRI study. *Psychol Res*, 70(6), 541-552.

- Szameitat, A. J., Schubert, T. et Muller, H. J. (2011). How to test for dual-task-specific effects in brain imaging studies--an evaluation of potential analysis methods. *Neuroimage*, 54(3), 1765-1773.
- Szameitat, A. J., Schubert, T., Muller, K. et Cramon, D. Y. (2002). Localization of executive functions in dual-task performance with fMRI. *J Cogn Neurosci*, 14(8), 1184-1199.
- Tannenbaum, C., Mayo, N. et Ducharme, F. (2005). Older women's health priorities and perceptions of care delivery: results of the WOW health survey. *CMAJ*, 173(2), 153-159.
- Thompson, T. W., Waskom, M. L., Garel, K. L., Cardenas-Iniguez, C., Reynolds, G. O., Winter, R., . . . Gabrieli, J. D. (2013). Failure of working memory training to enhance cognition or intelligence. *PLoS One*, 8(5), e63614.
- Thorndike, E. L. (1906). *Principles of teaching*. New York: A.G. Seiler.
- Tombu, M. et Jolicoeur, P. (2005). Testing the predictions of the central capacity sharing model. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 31(4), 790-802.
- Tournier, I., Mathey, S. et Postal, V. (2012). The association between routinization and cognitive resources in later life. *Int J Aging Hum Dev*, 74(2), 143-161.
- Tranter, L. J. et Koutstaal, W. (2008). Age and flexible thinking: an experimental demonstration of the beneficial effects of increased cognitively stimulating activity on fluid intelligence in healthy older adults. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn*, 15(2), 184-207.
- Trick, L. M., Toxopeus, R. et Wilson, D. (2010). The effects of visibility conditions, traffic density, and navigational challenge on speed compensation and driving performance in older adults. *Accid Anal Prev*, 42(6), 1661-1671.

- Tziner, J. B., Haccoun, R. R. et Kadish, A. (1991). Personal and situational characteristics influencing the effectiveness of transfer of training improvement strategies. *Journal of occupational of training and development*, 64, 167-177.
- Van der Linden, M. et Juillerat, A. C. (2003). [Memory systems and memory disorders]. *Rev Prat*, 53(4), 400-405.
- Vaughan, L., Erickson, K. I., Espeland, M. A., Smith, J. C., Tindle, H. A. et Rapp, S. R. (2014). Concurrent and longitudinal relationships between cognitive activity, cognitive performance, and brain volume in older adult women. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 69(6), 826-836.
- Vaughan, L. et Giovanello, K. (2010). Executive function in daily life: Age-related influences of executive processes on instrumental activities of daily living. *Psychol Aging*, 25(2), 343-355.
- Veillard, L. et Coppé, S. (2009). Mobilisation de connaissances antérieures en formation professionnelle par alternance : perspectives apportées par une approche comparatiste. *Education et didactique*, 3(2), 47-80.
- Verghese, J., Buschke, H., Viola, L., Katz, M., Hall, C., Kuslansky, G. et Lipton, R. (2002). Validity of divided attention tasks in predicting falls in older individuals: a preliminary study. *J Am Geriatr Soc*, 50(9), 1572-1576.
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary scores: a meta-analysis. *Psychol Aging*, 18(2), 332-339.
- Verhaeghen, P. (2011). Aging and Executive Control: Reports of a Demise Greatly Exaggerated. *Current Directions in Psychological Science*, 20(3), 174-180.
- Verhaeghen, P. et Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: a review of meta-analyses. *Neurosci Biobehav Rev*, 26(7), 849-857.

- Verhaeghen, P. et Marcoen, A. (1996). On the mechanisms of plasticity in young and older adults after instruction in the method of loci: evidence for an amplification model. *Psychol Aging*, 11(1), 164-178.
- Verhaeghen, P., Marcoen, A. et Goossens, L. (1992). Improving memory performance in the aged through mnemonic training: a meta-analytic study. *Psychol Aging*, 7(2), 242-251.
- Victor, T. W. (2005). *Keeping Eye and Mind on the Road*. Uppsala University, Sweden.
- Voelcker-Rehage, C. et Alberts, J. L. (2007). Effect of motor practice on dual-task performance in older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 62(3), P141-148.
- Vygotsky, L. (1978). Interaction between learning and development. *Mind and Society* (pp. 79-91). Cambridge: Harvard University Press.
- Wakefield, D. B., Moscufo, N., Guttmann, C. R., Kuchel, G. A., Kaplan, R. F., Pearlson, G. et Wolfson, L. (2010). White matter hyperintensities predict functional decline in voiding, mobility, and cognition in older adults. *J Am Geriatr Soc*, 58(2), 275-281.
- Walton, C. C., Mowszowski, L., Lewis, S. J. et Naismith, S. L. (2014). Stuck in the mud: time for change in the implementation of cognitive training research in ageing? *Front Aging Neurosci*, 6, 43.
- Wang, J. Y., Zhou, D. H., Li, J., Zhang, M., Deng, J., Tang, M., . . . Chen, M. (2006). Leisure activity and risk of cognitive impairment: the Chongqing aging study. *Neurology*, 66(6), 911-913.
- Welford, A. T. (1952). An apparatus for use in studying serial performance. *Am J Psychol*, 65(1), 91-97.

- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychol Bull*, 120(2), 272-292.
- West, R. L., Welch, D. C. et Yassuda, M. S. (2000). Innovative approaches to memory training for older adults. In R. D. Hill, L. Bäckman & A. S. Neely (Eds.), *Cognitive rehabilitation in old age* (Vol. 81-105). New York: Oxford University Press.
- Westerberg, H. et Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory--a single-subject analysis. *Physiol Behav*, 92(1-2), 186-192.
- Wetle, T., Scherr, P., Branch, L. G., Resnick, N. M., Harris, T., Evans, D. et Taylor, J. O. (1995). Difficulty with holding urine among older persons in a geographically defined community: prevalence and correlates. *J Am Geriatr Soc*, 43(4), 349-355.
- Willis, S. L. et Caskie, G. I. (2013). Reasoning training in the ACTIVE study: how much is needed and who benefits? *J Aging Health*, 25(8 Suppl), 43S-64S.
- Willis, S. L. et Nesselroade, C. S. (1990). Long-term effects of fluid ability training in old-old age. *Dev Psychol*, 26, 905-910.
- Willis, S. L. et Schaie, K. W. (1986). Training the elderly on the ability factors of spatial orientation and inductive reasoning. *Psychol Aging*, 1(3), 239-247.
- Willis, S. L. et Schaie, K. W. (2009). Cognitive training and plasticity: theoretical perspective and methodological consequences. *Restor Neurol Neurosci*, 27(5), 375-389.
- Willis, S. L., Tennstedt, S. L., Marsiske, M., Ball, K., Elias, J., Koepke, K. M., . . . Group, A. S. (2006). Long-term effects of cognitive training on everyday functional outcomes in older adults. *JAMA*, 296(23), 2805-2814.

- Wilson, R. S., Barnes, L. L., Aggarwal, N. T., Boyle, P. A., Hebert, L. E., Mendes de Leon, C. F. et Evans, D. A. (2010). Cognitive activity and the cognitive morbidity of Alzheimer disease. *Neurology*, *75*(11), 990-996.
- Wilson, R. S., Bennett, D. A., Beckett, L. A., Morris, M. C., Gilley, D. W., Bienias, J. L., . . . Evans, D. A. (1999). Cognitive activity in older persons from a geographically defined population. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, *54*(3), P155-160.
- Wilson, R. S., Bennett, D. A., Bienias, J. L., Aggarwal, N. T., Mendes De Leon, C. F., Morris, M. C., . . . Evans, D. A. (2002). Cognitive activity and incident AD in a population-based sample of older persons. *Neurology*, *59*(12), 1910-1914.
- Wilson, R. S., Boyle, P. A., Yu, L., Barnes, L. L., Schneider, J. A. et Bennett, D. A. (2013). Life-span cognitive activity, neuropathologic burden, and cognitive aging. *Neurology*, *81*(4), 314-321.
- Wilson, R. S., Scherr, P. A., Schneider, J. A., Tang, Y. et Bennett, D. A. (2007). Relation of cognitive activity to risk of developing Alzheimer disease. *Neurology*, *69*(20), 1911-1920.
- Wilson, R. S., Weir, D. R., Leurgans, S. E., Evans, D. A., Hebert, L. E., Langa, K. M., . . . Bennett, D. A. (2011). Sources of variability in estimates of the prevalence of Alzheimer's disease in the United States. *Alzheimers Dement*, *7*(1), 74-79.
- Wood, J. M., Chaparro, A., Lacherez, P. et Hickson, L. (2012). Useful field of view predicts driving in the presence of distracters. *Optom Vis Sci*, *89*(4), 373-381.
- Woollacott, M. et Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture*, *16*(1), 1-14.

- Yang, L., Krampe, R. T. et Baltes, P. B. (2006). Basic forms of cognitive plasticity extended into the oldest-old: retest learning, age, and cognitive functioning. *Psychol Aging, 21*(2), 372-378.
- Yardley, L. et Smith, H. (2002). A prospective study of the relationship between feared consequences of falling and avoidance of activity in community-living older people. *Gerontologist, 42*(1), 17-23.
- Yesavage, J. A. et Rose, T. L. (1983). Concentration and mnemonic training in elderly subjects with memory complaints: a study of combined therapy and order effects. *Psychiatry Res, 9*(2), 157-167.
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M. et Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Mov Disord, 23*(3), 329-342; quiz 472.
- Zelinski, E. M. (2009). Far transfer in cognitive training of older adults. *Restor Neurol Neurosci, 27*(5), 455-471.
- Zinke, K., Zeintl, M., Eschen, A., Herzog, C. et Kliegel, M. (2012). Potentials and limits of plasticity induced by working memory training in old-old age. *Gerontology, 58*(1), 79-87.