

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

IMPACTS DE LA CONDITION PHYSIQUE SUR LES PERFORMANCES
COGNITIVES DANS LE VIEILLISSEMENT NORMAL

THÈSE PRÉSENTÉE
AU DÉPARTEMENT DE PSYCHOLOGIE
EN VUE DE L'OBTENTION
DU GRADE DE PHILOSOPHIAE DOCTOR (PH.D.)

PAR
MÉLANIE RENAUD M.A.

JANVIER 2010

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.»

REMERCIEMENTS

Comme le veut la tradition, je vais tenter de satisfaire à l'exercice plutôt difficile de la page des remerciements. Non qu'exprimer ma gratitude envers les personnes en qui j'ai trouvé un soutien soit contre ma nature, bien au contraire! La difficulté repose plutôt dans le fait de n'oublier personne. C'est pourquoi, je remercie par avance ceux dont le nom n'apparaît pas dans ces pages et qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre. Ils se reconnaîtront. Pour les autres, ils se reconnaîtront aussi...

J'aimerais donc tout d'abord remercier mon directeur de thèse, Louis Bherer, pour m'avoir accueillie au sein de son laboratoire. Dès nos premières rencontres, il s'est montré ouvert et disponible et je le remercie de m'avoir permis de poursuivre mes objectifs académiques et professionnels. Il a toujours montré beaucoup d'enthousiasme face à ma thématique de thèse et il a su me laisser la liberté nécessaire à l'accomplissement de mes travaux, tout en y gardant un œil critique et avisé. Je lui suis également reconnaissante pour sa patience et ses nombreux encouragements qui m'ont permis de mûrir ce projet de recherche et de le mener à terme. Je le remercie de m'avoir accordé sa confiance face au défi que représentait cette thèse, cette confiance ayant été un moteur très important de ma réussite. J'aimerais lui témoigner ici une profonde gratitude. Plus qu'un directeur ou même un collègue, je crois avoir trouvé en lui un ami qui m'a aidé aussi bien dans le travail que dans la vie lorsque j'en avais besoin.

Merci aussi à tous les membres du LESCA (sans ordre d'importance), Nicolas Berryman, Aurélia Bugaïska, Nathalie Castonguay, Laurence Crépeau-Desjardins, Olivier Dupuy, Émilie de Tournay-Jetté, Christine Gagnon, Véronique Labelle, Francis Langlois, Maude Laguë-Beauvais, Maxime Lussier, Joëlle Lyrette et Saïd Mekary qui ont su apporter chaleur humaine et réconfort dans les moments

de doute. La bonne humeur et l'ambiance au sein du groupe m'ont permis de mener mes travaux de recherche de manière très agréable. Merci aussi à Guillaume Boussardon, Thierno Diallo, Laëtitia Haller, Delphine Middermacht, Martine Vézina, Julie Brunet et François Maquestiaux pour leur collaboration aux études. J'aimerais également remercier Peter Scherzer et Isabelle Rouleau qui ont été des personnes ressources autant du point de vue clinique qu'académique au cours de cette longue aventure. Ils ont toujours montré de l'intérêt pour mon cheminement et répondu à mes sollicitations lorsque le besoin se faisait sentir. J'espère que cette thèse sera un remerciement suffisant au soutien et à la confiance sans cesse renouvelée dont ils ont fait preuve à mon égard.

Finalement, j'aimerais remercier tous mes amis doctorants (et non doctorants) qui ont rendu ces dernières années plus agréables par leur présence, leur humour, leur ouverture d'esprit, leur grande capacité d'écoute et leur soutien indispensable. Un merci particulier à Marie-Josée Caron, Sarah Lippé, Véronique Desrochers, Simon Charbonneau, François Paquet et Philippe O'keefe. Je remercie aussi mes parents qui m'ont incitée à poursuivre mes études, et qui m'ont soutenue et encouragée sans relâche. Enfin, je dédie un merci tout spécial à mon amoureux pour son soutien moral et affectif sans limite.

Toutes ces personnes ont été présentes pour écarter les doutes, soigner les blessures et partager les joies. Cette thèse est un peu la leur aussi.

À tous, merci!

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES ABBRÉVIATIONS.....	ix
LISTE DES ANNEXES.....	x
RÉSUMÉ.....	xi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I	
SYNTHÈSE.....	5
1.1 Résumé.....	7
1.2 Introduction.....	8
1.3 Le vieillissement cognitif.....	10
1.4 Mesures de la condition physique et vieillissement normal.....	12
1.5 Condition physique et vieillissement cognitif.....	13
1.6 Peut-on améliorer la vitalité cognitive des aînés par l'activité physique ?	17
1.7 Effets neurobiologiques de l'activité physique.....	20
1.8 Conclusion.....	23
1.9 Références.....	25
CHAPITRE II	
CONTEXTE EXPÉRIMENTAL.....	32
2.1 Questions de recherche.....	33
2.2 Objectifs.....	36
2.2.1 Première étude.....	36
2.2.2 Deuxième étude.....	37

CHAPITRE III	
PREMIÈRE ÉTUDE.....	39
3.1 Abstract.....	41
3.2 Introduction	42
3.3 Method.....	46
3.4 Results	49
3.5 Discussion.....	53
3.6 References	58
CHAPITRE IV	
DEUXIÈME ÉTUDE.....	69
4.1 Abstract.....	71
4.2 Introduction	72
4.3 Method.....	76
4.4 Results	81
4.5 Discussion.....	90
4.6 References	95
CHAPITRE V	
ÉPREUVES NEUROPSYCHOLOGIQUES	108
5.1 Études transversales.....	109
5.2 Études longitudinales.....	111
5.3 Études d'intervention.....	112
5.4 Descriptions des épreuves neuropsychologiques	115
5.5 Première étude	119
5.5.1 Participants.....	119

5.5.2	Résultats.....	119	
5.5.3	Discussion.....	123	
5.6	Deuxième étude.....	124	
5.6.1	Participants.....	124	
5.6.2	Résultats.....	124	
5.6.3	Discussion.....	130	
5.7	Conclusion.....	131	
CHAPITRE VI			
DISCUSSION GÉNÉRALE.....			133
6.1	Première étude.....	134	
6.2	Deuxième étude.....	137	
6.3	Apport de la thèse.....	140	
6.4	Implications cliniques.....	146	
6.5	Recherches futures.....	147	
CONCLUSION.....			149
RÉFÉRENCES.....			150
ANNEXES.....			157

LISTE DES TABLEAUX

PREMIÈRE ÉTUDE

Table 1	Mean scores and standard deviations (in parenthesis) for participants' baseline characteristics as a function of Age groups.....	65
---------	--	----

DEUXIÈME ÉTUDE

Table 1	Participant's baseline characteristics as a function of baseline fitness level	101
---------	--	-----

ÉPREUVES NEUROPSYCHOLOGIQUES

Tableau 1	Moyennes et écart-types (entre parenthèses) des résultats aux épreuves neuropsychologiques pour les personnes âgées en moins bonne forme et en meilleure forme physique en fonction du groupe d'âge.	122
-----------	---	-----

Tableau 2	Moyennes et écart-types (entre parenthèses) des résultats aux épreuves neuropsychologiques pour les personnes âgées du groupe contrôle et du groupe entraînement en fonction du niveau de base de la condition physique.....	125
-----------	--	-----

LISTE DES FIGURES

PREMIÈRE ÉTUDE

- Figure 1 Adjusted means for initiation time (ms) in the low fit and the high fit groups as a function of PI for each duration condition. 67
- Figure 2 Adjusted means for time (ms) for the low fit and the high fit group as a function of Age groups. 68

DEUXIÈME ÉTUDE

- Figure 1 Mean VO₂max estimate (A) and time to walk the one-mile distance (B) in the Rockport one-mile test in the control and the training groups at pre-test and post-test sessions. 103
- Figure 2 Mean initiation time (ms) in the simple and the choice RT tasks in the training and the control groups. 104
- Figure 3 Mean initiation time (ms) in the simple RT tasks as a function of preparatory intervals and baseline fitness level in the training and the control groups at pre-test (solid line) and post-test (dashed line). 105
- Figure 4 Mean initiation time (ms) in the choice RT task in the low fit (A) and the high fit groups (B), as a function of preparatory intervals at pre-test (solid line) and post-test (dashed line). 106
- Figure 5 Mean execution time (ms) in the short and the long duration conditions in the control and the training groups at pre-test and post-test sessions. 107

ÉPREUVES NEUROPSYCHOLOGIQUES

- Figure 1 Nombres d'items complétés en 120 secondes au sous-test de Substitution 126
- Figure 2 Résultats aux condition d'interférence et de flexibilité de la tâche de Stroop 128

LISTE DES ABBRÉVIATIONS

En français :

TR: temps de réaction

IP: intervalle préparatoire

VO₂max : volume maximal d'oxygène qu'un humain peut consommer par unité de temps (minutes) lors d'un test incrémenté maximal.

En anglais:

RT: reaction time

PI: preparatory interval

VO₂max: maximum capacity of an individual's body to transport and utilize oxygen during incremental exercise.

CNV: contingent negative variation

BDNF: brain derived neurotrophic factor

VBM: voxel-based morphometric

MMSE: mini-mental state examination

CVLT: California verbal learning test

RAVLT: Rey auditory verbal learning test

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	Tableau de corrélations des résultats de l'étude 1 présentée au Chapitre 3	158
ANNEXE 2	Résultats détaillés à la tâche de préparation à répondre de la première étude présentée au Chapitre 3	161
ANNEXE 3	Résultats détaillés à la tâche de préparation à répondre de la deuxième étude présentée au Chapitre 4	165
ANNEXE 4	Formulaires de consentement	169
ANNEXE 5	Approbation scientifique et éthique.....	186
ANNEXE 6	Preuves de soumission des articles	189

RÉSUMÉ

Pour plusieurs personnes, le vieillissement s'accompagne d'une diminution des performances cognitives, de la qualité de vie et du bien-être. Toutefois, des études récentes ont montré que certains facteurs environnementaux, tel que maintenir un style de vie actif et faire de l'exercice sur une base régulière, peuvent modérer ces effets délétères du vieillissement (Kramer, Bherer, Colcombe, Dong, & Greenough, 2004). Des études transversales suggèrent que la condition cardiorespiratoire est associée à de meilleures performances cognitives chez les aînés, plus précisément aux tests mesurant l'attention et les fonctions exécutives. De plus, les études d'intervention, dans lesquelles des personnes âgées plutôt inactives participent à un programme d'exercices réguliers à une intensité suffisante pour augmenter leur niveau de condition physique, ont également permis de confirmer la relation entre le niveau de condition physique et la vitalité cognitive (voir Colcombe & Kramer, 2003). Toutefois, bien que ces études tendent à démontrer que les bienfaits de la condition physique sur la cognition sont plus marqués dans le domaine de l'attention et des fonctions exécutives, il demeure difficile de préciser la nature des mécanismes cognitifs (inhibition, activation, alternance, préparation, etc.) qui s'améliorent le plus avec la condition physique.

L'objectif de la première étude de cette thèse était de comparer les performances cognitives de personnes âgées en bonne santé présentant différents niveaux de condition physique. Dans cette étude transversale, 110 participants ont complété un test de marche (Rockport one-mile, Kline et al., 1987), ainsi qu'une tâche informatisée de préparation à répondre et une batterie de tests neuropsychologiques visant à mesurer la vitesse psychomotrice, l'attention, les fonctions exécutives et la mémoire, afin d'évaluer la relation entre la condition physique et les performances cognitives. Ces personnes ont par la suite été séparées en deux groupes selon leur niveau de condition physique, évalué au moyen du test de marche (Rockport one-mile, Kline et al., 1987) qui permettait d'estimer leur capacité cardiorespiratoire. Dans chacun des groupes, les personnes âgées de 60 à 69 ans ont été comparé à celles âgées de 70 à 79 ans, afin d'évaluer la relation entre la santé cardiorespiratoire et la cognition en fonction de l'âge des participants. Les résultats de cette étude ont montré que les participants âgés présentant une meilleure condition physique avaient de meilleures capacités à développer rapidement un état préparatoire optimal et étaient capables de maintenir un niveau de préparation plus élevé pour de plus longues périodes de temps. De plus, une interaction significative entre l'âge et la condition physique dans les temps d'exécution, a montré que les participants en moins bonne forme physique plus âgés (70-79) étaient plus lents que les individus avec une meilleure condition physique. Ce dernier résultat suggère que la condition physique pourrait avoir un effet protecteur sur le ralentissement relié à l'âge souvent observé dans l'exécution de réponses motrices.

Dans la seconde étude, qui était une étude d'intervention, 50 personnes âgées sédentaires ont été assignées à un groupe d'entraînement physique ou à un groupe témoin. Le principal objectif de cette seconde étude était de préciser les effets d'un programme d'entraînement physique adapté aux besoins des aînés sédentaires sur leurs performances cognitives. Un groupe de 25 personnes âgées a pris part au programme d'entraînement physique de trois mois, à raison d'une heure, trois fois par semaine. Les mesures neuropsychologiques et expérimentales utilisées dans la première étude ont été administrées au début et à la fin du programme d'entraînement physique. Les résultats ont montré une amélioration significative des capacités cardiorespiratoires après l'entraînement (VO_2 max estimé à l'aide du test de marche du Rockport one-mile, Kline et al., 1987). Cette amélioration n'a pas été observée chez un groupe contrôle n'ayant pas participé à l'entraînement. Les personnes du groupe entraîné montraient également une amélioration significative dans les épreuves cognitives faisant appel aux fonctions exécutives et au contrôle attentionnel (Stroop, Tour de Londres, tâche de préparation à répondre).

Les résultats de ces deux études appuient l'hypothèse selon laquelle les performances cognitives des aînés peuvent être maintenues et même améliorées par la condition physique. Plus spécifiquement, les bienfaits de la condition physique sur la cognition sont plus marqués sur les fonctions exécutives. De plus, les données originales des deux études suggèrent que les mécanismes de contrôle attentionnel qui supportent la préparation temporelle sont sensibles au niveau de condition physique des personnes âgées et peuvent également être améliorés à la suite d'un programme d'exercices physiques.

Mots clés: Condition physique, Fonctions exécutives, Contrôle attentionnel, Préparation à répondre, Vieillesse normale

INTRODUCTION

Selon statistique Canada (2006) les aînés représenteront 21% de la population en 2026 comparativement à 13% en l'an 2000. Il va sans dire qu'une telle évolution démographique aura des conséquences sociales et économiques importantes sur le système de santé canadien (Hogan, 2001).

Le vieillissement s'accompagne de changements importants au niveau du système nerveux central, entraînant dans plusieurs cas, un déclin cognitif. Ce vieillissement cognitif peut avoir un impact majeur sur la qualité de vie et le bien-être des personnes âgées en provoquant une perte d'autonomie, une baisse de confiance en soi ou du sentiment de compétence et une baisse progressive des interactions sociales. Les études conduites avec les aînés ont permis d'observer que le vieillissement cognitif est hétérogène, et que même si plusieurs fonctions cognitives sont atteintes chez les aînés, elles ne sont pas touchées également par le vieillissement. Certaines fonctions cognitives (mémoire à court terme, vitesse de traitement, attention, capacités visuo-spatiales) sont sensibles aux effets du vieillissement et des études suggèrent que les fonctions exécutives sont les plus sensibles à l'avancée en âge (Bherer, Belleville, & Hudon, 2004). Les fonctions exécutives réfèrent aux mécanismes mentaux qui contrôlent notre fonctionnement intellectuel en nous permettant de nous adapter à une situation nouvelle où plusieurs stimuli concurrents engendrent des actions multiples et conflictuelles. Le déclin plus marqué des fonctions exécutives semble associé à des changements neurologiques et neuroanatomiques, puisque les régions préfrontales du cortex cérébral, associées aux fonctions exécutives (Stuss, Shallice, Alexander, & Picton, 1995), montrent des changements précoces avec l'âge (Raz, 2000).

Ceci a amené les chercheurs à s'intéresser aux facteurs qui peuvent moduler le vieillissement en jouant un rôle déterminant sur la vitalité cognitive des personnes

âgées. Parmi ces facteurs, la pratique régulière d'une activité physique semble associée à de meilleures performances cognitives chez les aînés. Par exemple, les personnes âgées qui pratiquent régulièrement une activité physique ont de meilleures performances dans les épreuves impliquant un processus de décision, la mémoire et la résolution de problèmes (Etnier et al., 1997). De plus, dans une étude d'intervention, Kramer et al., (1999) ont montré qu'un entraînement physique (cardiorespiratoire) améliore la cognition des aînés sédentaires et que cette amélioration est plus marquée dans les tâches mesurant les fonctions exécutives. Les auteurs rapportent également une corrélation directe entre une meilleure santé cardiorespiratoire et la performance aux mesures des fonctions exécutives. Cette relation positive entre la santé cardiorespiratoire et la performance aux tâches exécutives a également été confirmée dans une méta-analyse incluant 18 études d'entraînement physique avec des personnes âgées de 60 ans et plus (Colcombe & Kramer, 2003).

Même si les études entreprises jusqu'à maintenant suggèrent que ce sont les fonctions exécutives qui bénéficient le plus d'une bonne condition physique, elles comportent certaines limites, puisqu'elles ne permettent pas de préciser la nature des mécanismes (inhibition, activation, alternance, préparation, etc.) qui s'améliorent le plus avec la condition physique. Une explication possible est que les études antérieures n'ont pas pris position concernant l'approche théorique supportant leurs hypothèses de travail. En fait, on peut identifier différentes approches dans l'étude des fonctions exécutives (Royall et al., 2002; Godefroy, Jeannerod, Allain, & Le Gall, 2008). Une d'entre elles postule l'existence d'une organisation hiérarchisée du système cognitif sous la dépendance d'un système de contrôle central. Les fonctions exécutives sont alors considérées comme des processus cognitifs supérieurs tels l'abstraction, le jugement ou la résolution de problème. Une autre, préfère parler de contrôle cognitif ou contrôle exécutif. Dans cette perspective, le fonctionnement exécutif repose sur des processus relativement élémentaires qui contrôlent l'exécution des activités cognitives complexes,

telles que le raisonnement, la mémoire ou la résolution de problème. Dans cette perspective, Stuss et al. (2002) proposent un fractionnement du fonctionnement exécutif en mécanismes élémentaires (activation, sélection, maintien, inhibition, contrôle) supportés par des régions frontales distinctes, qui gouvernent la sélection et l'exécution des processus cognitifs supérieurs (mémoire, langage). Cette approche du contrôle exécutif sera celle préconisée dans ce travail de thèse afin d'évaluer s'il est possible d'appréhender le rôle de la condition physique sur les mécanismes élémentaires du contrôle exécutif. L'approche proposée par Stuss et al. (2002) a été étayée sur le plan expérimental et clinique en s'appuyant sur des données obtenues avec des tâches de temps de réaction simple ou complexe auprès de patients présentant des lésions circonscrites des lobes frontaux. Cette approche apparaît particulièrement intéressante car elle permet une analyse des processus exécutifs impliqués dans diverses tâches. Des études suggèrent que les mécanismes élémentaires, tel que décrit par Stuss et al. (2002), ne sont pas tous affectés de la même façon par le vieillissement normal (Bherer, Belleville & Hudon, 2004). Il est donc possible que toutes les formes de contrôle exécutif ne répondent pas de la même façon à l'exercice physique.

Cette thèse a donc pour objectif d'essayer de mieux comprendre le lien entre une bonne condition physique, une amélioration de la santé cardiorespiratoire et de meilleures performances cognitives chez les aînés. Dans cette optique, le premier chapitre de cet ouvrage sera consacré à une revue de la littérature sur le sujet. Suivra les questions de recherche ayant motivé les deux études rapportées dans la thèse (Chapitre 2). Les deux études seront ensuite présentées sous forme de chapitres distincts, soit la première étude (Chapitre 3) dans laquelle ont été comparées les performances cognitives de personnes âgées présentant différents niveaux de condition physique et la seconde étude (Chapitre 4) qui relate les effets d'un programme d'entraînement physique adapté aux besoins des aînés sédentaires sur leurs performances cognitives. Les résultats aux tests neuropsychologiques des deux études feront l'objet d'un chapitre indépendant

(Chapitre 5). Tous les résultats seront finalement discutés en lien avec la littérature existante (Chapitre 6).

CHAPITRE 1 : Synthèse

Référence : **Renaud, M., & Bherer, L.** (2005). L'impact de la condition physique sur le vieillissement cognitif. *Psychologie et Neuropsychiatrie du Vieillessement*, 3(3), 199-206.

L'impact de la condition physique sur le vieillissement cognitif

Mélanie Renaud & Louis Bherer

Centre de recherche, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal

Département de Psychologie, Université du Québec à Montréal

Mots clés : Activité physique, Condition physique, Cognition, Fonctions exécutives,
Vieillessement.

Adresse de correspondance :
Louis Bherer, Ph.D
Département de psychologie
Université du Québec à Montréal (UQÀM)
C.P. 8888 succursale Centre-ville
Montréal (Québec)
H3C 3P8 CANADA

Tél.: 514-987-3000 poste 1944
Télécopie : 514-987-7953
Courriel: bherer.louis@uqam.ca

Résumé

Le vieillissement, même normal, s'accompagne de changements importants au niveau du système nerveux central, ce qui entraîne dans plusieurs cas, un déclin cognitif. Plusieurs facteurs semblent toutefois moduler l'effet du vieillissement sur la cognition. Par exemple, les personnes âgées qui pratiquent régulièrement une activité physique ont de meilleures performances dans les épreuves impliquant un processus de décision, la mémoire et la résolution de problèmes. Cet article vise à donner un aperçu des résultats les plus probants quant à l'effet bénéfique de la condition physique sur le vieillissement cognitif. Les études dans ce domaine ont permis de vérifier le lien entre une bonne condition physique et de meilleures performances dans de nombreuses tâches cognitives, avec un effet plus marqué dans les tâches faisant appel aux fonctions exécutives. L'entraînement physique pourrait donc être un moyen efficace d'améliorer et de maintenir la vitalité cognitive des personnes âgées.

Introduction

La population mondiale connaît actuellement un vieillissement accéléré.

Globalement, les personnes âgées de 65 ans et plus représentaient 5.2 % de la population mondiale en 1950, 6.9 % en 2000 et on estime qu'elles représenteront 15.6 % des êtres humains de la planète en 2050. On constate qu'à ce rythme, la population de gens âgés de 60 ans et plus augmentera environ 3.5 fois plus rapidement que la population totale (United Nations, 2004). Évidemment, les conséquences sociales et économiques d'une telle transition démographique sont majeures, notamment en ce qui concerne les dépenses liées à la santé, puisque le vieillissement normal entraîne de nombreux changements sur le plan physique et physiologique. Au début des années 1990, aux États-Unis, on répertoriait environ 80% des personnes âgées de plus de 65 ans qui présentaient un et parfois même plusieurs problèmes de santé physique (Pescatello & DiPietro, 1993). Toutefois, les études récentes suggèrent que les conséquences négatives qu'entraîne le vieillissement chronologique pourraient être diminuées, puisque la détérioration des fonctions et structures physiologiques observée lors du vieillissement peut résulter en partie de l'inactivité physique. En effet, depuis plusieurs décennies, les études épidémiologiques ont montré qu'un niveau élevé d'activité physique était associé à une plus grande longévité et à une réduction des risques de maladies cardiovasculaires (Blair et al., 1998; Paffenbarger & Hale, 1975; Paffenbarger, Wing, & Hyde, 1978). En plus d'améliorer la santé cardiorespiratoire, la pratique régulière d'une activité physique réduit l'incidence des maladies liées à l'âge, telles les maladies coronariennes, le

diabète, l'hypertension, l'ostéoporose et certains types de cancer (Bouchard & Despres, 1995; Cotman & Engesser-Cesar, 2002). L'activité physique prévient donc l'apparition d'un certain nombre de phénomènes préjudiciables associées au vieillissement et génère chez les personnes âgées, un mieux-être physique accompagné, sur le plan psychologique, d'un sentiment de satisfaction.

La condition physique semble également jouer un rôle important sur le fonctionnement cognitif, un autre aspect central de la qualité de vie et du bien-être des personnes âgées. L'effet délétère du vieillissement sur les fonctions cognitives a été largement étudié au cours des dernières décennies. Les études récentes ont montré que tous les individus ne sont pas affectés de la même façon par l'âge et que certaines personnes bénéficient d'une vitalité cognitive impressionnante, même à un âge très avancé (chez les plus de 90 ans, Silver, Jilinskaia, & Perls, 2001). Ceci a amené les chercheurs à s'intéresser aux facteurs qui semblent moduler le vieillissement en jouant un rôle déterminant sur la vitalité cognitive des personnes âgées. Parmi ces facteurs, la pratique régulière d'une activité physique semble associée à de meilleures performances cognitives chez les personnes âgées. Plus récemment, des programmes d'intervention ont été proposés pour améliorer la condition physique des personnes âgées dans le but d'augmenter leur vitalité cognitive (Colcombe & Kramer, 2003). Plusieurs de ces études ont montré des résultats intéressants qui suggèrent que l'exercice physique aurait un réel impact sur le vieillissement cognitif. Cet article vise à mettre en lumière les résultats les plus concluants issus de cette approche, afin de mieux comprendre les déterminants du

vieillessement cognitif. Dans un premier temps, seront présentés les principaux résultats des études épidémiologiques et transversales qui ont permis d'établir une relation entre la condition physique et le vieillissement cognitif. Ensuite, nous aborderons les études d'intervention dans lesquelles des participants âgés s'engagent dans un programme d'entraînement physique en vue d'améliorer leur fonction cardiorespiratoire ainsi que leur fonctionnement cognitif. Enfin, nous traiterons brièvement des études animales qui tentent de mieux comprendre les effets du conditionnement physique sur le système nerveux central.

Le vieillissement cognitif

L'avancée en âge entraîne le plus souvent de nombreux changements sur le plan cognitif. Cependant, toutes les fonctions cognitives ne sont pas également affectées au cours du vieillissement. On s'entend généralement pour considérer que les opérations mentales cristallisées, qui s'appuient sur les connaissances générales acquises au fil des années sont relativement maintenues. En revanche, les habiletés mentales dites fluides, qui s'appuient davantage sur des processus cognitifs (mémoire, attention, vitesse de traitement) sont fortement touchées et de façon plus précoce (Park & Gutches, 2002). Dans les études transversales, qui comparent de jeunes adultes à des personnes âgées (65 ans et plus), l'attention soutenue ou la vigilance est parfois réduite chez les personnes âgées. L'attention sélective, souvent évaluée par la capacité de trouver une cible parmi des distracteurs (e.g. recherche visuelle) est également diminuée chez les personnes âgées. L'attention divisée, nécessaire à l'accomplissement de tâches concurrentes (e.g.

conduire en ajustant son appareil radio), semble aussi particulièrement sensible à l'avancée en âge. De plus, la mémoire est une fonction cognitive qui décline avec l'âge selon la plupart des études. Le rappel d'information immédiat ou à très court terme diminue. En ce qui a trait à la mémoire à long terme, il semble que la mémoire explicite, plus précisément le rappel volontaire de nouvelles informations, soit davantage touché que le rappel implicite, par la reconnaissance d'une information familière par exemple. Donc les personnes âgées éprouveraient des difficultés à retrouver l'information apprise. Les données empiriques montrent également que les fonctions cognitives supérieures sont touchées, telles que les habiletés arithmétiques et de résolution de problèmes. Enfin, on associe souvent le vieillissement à une diminution des fonctions exécutives, qui réfère à l'habileté à s'ajuster à une situation nouvelle ou peu familière et qui repose sur des mécanismes cognitifs élémentaires par lesquels nous exerçons un contrôle sur notre cognition. Parmi ces mécanismes exécutifs, l'inhibition, le transfert attentionnel et la préparation à répondre sont particulièrement sensibles au vieillissement normal (Bherer & Belleville, 2004).

De plus en plus d'études suggèrent qu'un bon nombre de facteurs peuvent moduler le vieillissement cognitif (Kramer, Bherer, Colcombe, Dong, & Greenough, 2004). Parmi ces facteurs, la condition physique des individus joue un rôle majeur. En effet, des études épidémiologiques impliquant un grand nombre de participants ont souvent rapporté une corrélation positive entre la condition physique des individus et leur vitalité sur le plan cognitif (Barnes, Yaffe, Satiriano, & Tager, 2003), plus

spécifiquement sur les mesures d'attention et des fonctions exécutives. Les études longitudinales et les études d'intervention suggèrent également qu'une bonne condition physique aurait un impact positif sur la performance cognitive des personnes âgées. Avant d'aborder plus en détails ces études, il importe de s'attarder aux méthodes pour évaluer et quantifier la condition physique des personnes âgées.

Mesures de la condition physique et vieillissement normal

Il existe une grande variété de méthodes et de critères pour déterminer le niveau de condition physique des personnes âgées. Certaines études ont utilisé des questionnaires dans lesquels les participants doivent énumérer les activités physiques qu'ils pratiquent et leur fréquence, ou rapporter leur niveau de participation à des exercices prédéterminés. Une limite importante de cette approche est que ce type de mesure auto-rapportée peut souvent être biaisé par l'attitude des répondants qui ont, le plus souvent, une propension à surestimer le nombre d'heures passées à pratiquer une activité physique. D'autres études ont utilisé des mesures directes de la condition physique, comme le $VO_2\text{max}$. Le $VO_2\text{max}$ est la quantité maximale d'oxygène qu'un individu est capable de consommer en une minute. Le $VO_2\text{max}$ peut être mesuré directement à l'aide d'appareils d'analyse des gaz expirés lors d'un exercice soutenu ou, plus fréquemment, estimé à partir des indices de performances et des réponses physiologiques lors d'un exercice physique (e.g., test de Rockport 1-mile, Kline et al., 1987). L'oxygène étant le comburant indispensable pour le fonctionnement de la voie métabolique aérobie (Préfaut, Fabre, & Masse-Biron, 1998), le $VO_2\text{max}$ est un des

meilleurs indicateurs de la condition cardiorespiratoire chez l'homme. La condition cardiovasculaire procure une information précise sur la relation entre l'activité physique et les fonctions cognitives, parce qu'elle est largement déterminée par les habitudes d'activité physique et qu'elle est basée sur des mesures physiologiques objectives.

Certains travaux concernant l'évolution de l'aptitude physique aérobie en fonction de l'âge ont mis en évidence une diminution de 10 % du $VO_2\text{max}$ par décennie à partir de 25 ans (Hawkins & Wiswell, 2003; Heath, Hagberg, Ehsani, & Holloszy, 1981). Toutefois, il semblerait qu'à quantité et intensité égale d'entraînement chez de jeunes athlètes (âge moyen 22 ans) et des vétérans (âge moyen 60 ans), le $VO_2\text{max}$ des vétérans n'était que de 15 % inférieur à celui des jeunes athlètes, mais il était deux fois supérieur à celui d'un groupe de personnes âgées sédentaires étudié parallèlement (Heath, 1981). Ainsi le déclin du $VO_2\text{max}$ associé à l'âge dépendrait du niveau d'activité physique de l'individu. Il semblerait qu'une baisse de 10 % par décennie soit le reflet du déclin touchant la plupart des individus tous niveaux d'activité confondus, c'est-à-dire les athlètes, les gens actifs et les sédentaires.

Condition physique et vieillissement cognitif

Les études qui se sont intéressées à la relation entre la condition physique et les performances cognitives des personnes âgées suggèrent qu'un régime d'exercice durant toute une vie peut engendrer une facilitation de certains aspects de la cognition. Les premières évidences empiriques proviennent des études transversales qui ont comparé des personnes âgées et de jeunes adultes qui différaient quant à leur niveau de santé

cardiorespiratoire. Spirduso (1975) a comparé les performances de joueurs (jeunes et âgés) de sports de raquette ou de handball à celles de personnes inactives ou sédentaires, à des tâches de temps de réaction simple et de choix. L'auteur a observé que le temps de décision et de production de la réponse était plus rapide chez les sportifs que chez les sédentaires. De plus, dans la tâche de temps de réaction simple, les performances (temps de décision) des personnes âgées sportives étaient comparables à celles des jeunes sédentaires. De même, en comparant les performances de personnes âgées (55 à 91 ans) en bonne forme physique à celles de sédentaires dans des tâches de temps de réaction simple et de choix, Clarkson-Smith & Hartley (1989) ont montré que les personnes âgées en bonne condition physique répondaient plus rapidement. En outre, les auteurs ont observé que les performances des personnes sédentaires étaient plus sensibles à la difficulté de la tâche (augmentation des latences de réponses en fonction du nombre de choix de réponse). Clarkson-Smith et Hartley ont également observé des performances supérieures chez les gens actifs dans différentes tâches de mémoire de travail (empan de lettres, empan de mots). Pour leur part, Abouezk & Toole (1995) ont comparé deux groupes de femmes dans la soixantaine avancée. Un groupe était composé de personnes pratiquant la marche, l'aérobic ou la danse, et l'autre groupe effectuait des étirements et des exercices de souplesse de façon régulière. Les performances des deux groupes étaient équivalentes pour le temps de réaction simple mais à l'avantage des femmes actives pour le temps de réaction de choix. Shay & Roth (1992) quant à eux, ont observé une meilleure performance des personnes âgées actives dans certaines tâches visuelles

impliquant la mémoire visuelle ou l'assemblage visuel. L'avantage que montrent les personnes en bonne santé physique aux épreuves de temps de réaction pourrait s'expliquer en partie par de meilleurs processus de préparation à répondre. En effet, Hillman, Weiss, Hagberg, & Hatfield (2002) ont récemment comparé les réponses électrophysiologiques de types potentiels évoqués cognitifs chez les personnes âgées et jeunes en bonne santé physique et sédentaires lors d'une tâche de discrimination visuelle avec composante motrice. Les auteurs ont mis en évidence, chez les personnes jeunes et âgées en bonne condition physique une amplitude réduite de la CNV (*contingent negative variation*), un marqueur électrophysiologique de la préparation, ce qui suggère une économie de ressources cognitives associées à la préparation d'une réponse psychomotrice.

La relation entre la condition physique et le fonctionnement cognitif a également été observée dans les études longitudinales. Barnes et al. (2003) ont étudié 349 participants âgés de 65 ans et plus, physiquement actifs, qu'ils ont divisé en trois groupes selon le niveau initial de VO₂max, évalués à un temps fixe et 6 ans plus tard. Ils ont administré à toutes les personnes une batterie de tests neuropsychologiques (*minimal state examination* (MMSE), *trail making test* partie B, épreuve de Stroop, sous-test de Substitution de la WAIS-III, *California verbal learning test* (CVLT) et épreuve de fluidité verbale). Les auteurs ont observé que la condition cardiorespiratoire au début de l'étude était associée de façon positive à de meilleures performances aux tests cognitifs, ainsi qu'à une préservation des fonctions cognitives après une période de 6

ans. Plus précisément, les personnes les plus en forme ont obtenu de meilleurs résultats pour les tests faisant appel aux fonctions exécutives (*trail making test* partie B, épreuve de Stroop, sous-test de Substitution) et à la mémoire à court terme (rappel immédiat du CVLT). Dans une autre étude incluant 5 925 femmes, (Yaffe, Barnes, Nevitt, Lui, & Covinsky, 2001) ont démontré que les femmes présentant un plus haut niveau d'activité physique étaient moins sujettes au déclin cognitif, évalué à l'aide du MMSE, lors d'un suivi de 6 et 8 ans.

En résumé, il semble qu'une bonne condition physique pourrait compenser en partie le ralentissement observé dans les épreuves de temps de réaction chez les personnes âgées saines et que l'avantage des personnes en bonne condition physique pourrait être associé à une meilleure préservation des processus de préparation à répondre. De plus, un bon niveau de condition physique serait associé à de meilleures performances dans des tâches faisant appel à différentes composantes des fonctions exécutives, telles l'inhibition, la flexibilité mentale et la vitesse psychomotrice, ainsi que dans les épreuves attentionnelles. Les résultats des études transversales suggèrent donc qu'un lien direct existe entre la santé cardiorespiratoire et la vitalité cognitive des personnes âgées. Toutefois, de tels résultats ne permettent pas de conclure en l'existence d'un lien causal entre l'activité physique et les fonctions cognitives. Il est toujours possible que les gens qui ont un fonctionnement cognitif plus élevé soient ceux qui restent plus actifs. Les effets positifs de ces études transversales pourraient, notamment, refléter une prédisposition génétique des personnes en forme pour les réponses rapides

et justes, plutôt qu'un bénéfice de la condition aérobie provoquée par l'exercice. Seule la mise en évidence d'un lien causal entre la condition physique et la performance cognitive constituerait une démonstration convaincante que l'augmentation des capacités cardiorespiratoires constitue un moyen efficace d'améliorer les performances cognitives des personnes âgées.

Peut-on améliorer la vitalité cognitive des aînés par l'activité physique ?

Les études d'intervention, dans lesquelles des personnes âgées physiquement inactives bénéficient d'un programme d'exercice régulier avec une intensité suffisante pour augmenter significativement leur niveau de condition physique, ont confirmé l'existence d'une relation positive entre le niveau de condition physique et la vitalité cognitive. La majeure partie de cette littérature porte sur l'effet des exercices aérobies comme la marche, le jogging léger, la course, le vélo stationnaire ou la danse. En général, les auteurs sélectionnent des participants dans la communauté qui sont relativement en bonne santé pour leur âge, mais plutôt inactifs, et les assignent aléatoirement à un groupe d'entraînement ou à un groupe contrôle qui ne reçoit aucun traitement ou qui participe à des activités ne conduisant pas à une amélioration des fonctions cardiorespiratoires. La majorité des études d'intervention utilise une mesure d'absorption d'oxygène pour déterminer le niveau initial de la condition physique et ainsi quantifier l'amélioration observée au niveau de la santé cardiorespiratoire.

Dans le domaine de l'attention, des fonctions exécutives et de la vitesse de traitement (paradigme de temps de réaction), Dustman et al. (1984) ont entraîné (marche

rapide, jogging léger) 13 sujets, 3 fois par semaine pendant 4 mois, et ont comparé leurs performances cognitives à celles d'un groupe contrôle non-aérobie (flexibilité et étirement) et d'un groupe sans entraînement, à l'aide de différents tests. Ils ont observé une augmentation de la fonction cardiorespiratoire chez les personnes entraînés.

L'entraînement aérobie était également associé à une amélioration significative de la vitesse psychomotrice (sous-test de Substitution), du temps de réaction simple et de l'inhibition (épreuve de Stroop). Toutefois, l'entraînement physique semblait avoir peu d'effet sur la mémoire à court terme mesurée par une épreuve d'empan de chiffres.

L'entraînement physique a donc des effets robustes mais sélectifs sur la cognition avec des bénéfices marqués sur les processus de contrôle exécutif. Pour leur part, Rikli & Edwards (1991) ont effectué un programme d'intervention (marche rapide, danse aérobie) de 3 ans, 3 fois par semaine, avec des femmes âgées en moyenne de 70 ans.

Leurs performances étaient comparées à celles d'un groupe contrôle n'ayant participé à aucun entraînement. Les auteurs ont montré une amélioration de la vitesse des réponses à la tâche de temps de réaction simple chez les personnes du groupe d'entraînement.

Quant aux fonctions exécutives, certaines études ont utilisé des tâches de type temps de réaction, mais qui permettaient d'isoler les composantes exécutives (e.g., comparer les performances en attention divisée versus simple dans la même tâche).

Hawkins, Kramer, & Capaldi (1992) ont mis en place un programme d'entraînement aquatique de 10 semaines. Les personnes âgés du groupe entraînement ont montré une amélioration dans les composantes dites exécutives des tâches de flexibilité

attentionnelle et d'attention divisée, plus importante que dans les composantes non exécutive des tâches, mesurant davantage la vitesse de traitement de l'information. De plus, l'effet plus marqué de l'entraînement sur les fonctions exécutives a été reproduit dans une étude plus récente. Kramer et al. (1999) ont comparé deux groupes de participants âgés sédentaires qu'ils ont assignés aléatoirement à un programme d'aérobic (marche) et un groupe d'exercice non-aérobic (étirement). Ils ont observé que les participants du groupe aérobic affichaient une amélioration des performances à plusieurs tâches cognitives et ce, davantage dans les composantes exécutives des tâches. Ces résultats ont été observés dans une variété de tâches sollicitant les mécanismes de contrôle exécutif, comme dans la tâche de compatibilité de réponse, le paradigme de transfert attentionnel (*task switching*) et le paradigme d'arrêt (*Stop signal*). De plus, les auteurs ont observé une corrélation directe entre l'amélioration de la santé cardiorespiratoire ($VO_2\text{max}$) et la performance aux mesures des fonctions exécutives.

Il semble donc qu'une intervention visant l'amélioration des fonctions cardiorespiratoires entraîne de meilleures performances cognitives chez les personnes âgées et que les bénéfices soient plus marqués aux tests mesurant les fonctions exécutives. C'est du moins ce que confirme une récente méta-analyse regroupant 18 études d'intervention chez des sujets âgés de 60 ans et plus (Colcombe & Kramer, 2003). De plus, dans cette étude, les auteurs ont démontré qu'une intervention est plus efficace si la population à l'étude est composée de plus de 50 % de femmes, si le programme d'entraînement combine à la fois entraînement cardiorespiratoire, force

musculaire et souplesse et dure plus de 30 minutes. Une intervention d'une durée de quelques mois seulement serait suffisante pour améliorer certaines fonctions cognitives déficitaires. Les résultats de cette méta-analyse mettent en évidence l'importance de prendre en compte le type d'entraînement utilisé dans les études, la durée de ces entraînements et la possibilité que les effets bénéfiques de l'entraînement diffèrent entre les hommes et les femmes. Les études futures nous permettront de mieux connaître l'impact de la condition physique sur la cognition en fonction des caractéristiques personnelles des individus (e.g. genre, style de vie, etc.).

Effets neurobiologiques de l'activité physique

Bien qu'un nombre croissant d'études suggère que l'activité physique ait un effet bénéfique sur la cognition humaine, on connaît encore mal son impact d'un point de vue neurobiologique. Les données provenant des études animales suggèrent qu'un exercice prolongé a des conséquences significatives, à long terme, sur les comportements et la plasticité neuronale. À titre d'exemple, plusieurs études ont rapportés que, chez les rats, le taux de certaines neurotrophines, tel le BDNF (*brain derived neurotrophic factor*), augmente à la suite d'une période d'exercice prolongée (Gomez-Pinilla, Dao, & So, 1997; Gomez-Pinilla, So, & Kesslak, 1998; Neeper, Gomez-Pinilla, Choi, & Cotman, 1995; Russo-Neustadt, Ha, Ramirez, & Kesslak, 2001). Cette régulation à la hausse du BDNF, combinée à la plasticité vasculaire, engendrerait une synaptogenèse et une neurogenèse dans les régions du cerveau où on retrouve généralement peu de prolifération neuronale (Pencea, Bingham, Wiegand, & Luskin, 2001). Une

augmentation du nombre de nouvelles cellules nerveuses dans l'hippocampe de la souris (van Praag, Christie, Sejnowski, & Gage, 1999) et du taux de prolifération neuronale dans le gyrus denté des rongeurs (van Praag, Kempermann, & Gage, 1999) a également été observée suite à un exercice physique. Il a aussi été montré que l'angiogenèse (formation de nouveaux capillaires sanguins à partir de vaisseaux sanguins existants) débute rapidement après le début d'un programme d'exercice volontaire (dans les 3 jours) et que cette croissance coïncide dans le temps avec un niveau élevé de la performance physique. De plus, l'angiogenèse est une conséquence naturelle d'une activité physique importante et de l'augmentation concomitante de l'activité neuronale. À cet effet, Black, Isaacs, Anderson, Alcantara, & Greenough (1990) ont trouvé une augmentation de la densité capillaire dans le cervelet de rats s'exerçant sur une roue porteuse (*running wheel*). L'activité physique pourrait également avoir un effet direct sur les neurotransmetteurs. En effet, certains chercheurs ont observé qu'une augmentation de la condition aérobie (engendrée par la course) augmente la capture de choline (précurseur de l'acétylcholine) au niveau cortical et favorise la densité des récepteurs de dopamine dans le cerveau de rats âgés (Fordyce & Farrar, 1991).

Enfin, sur le plan comportemental, plusieurs études ont rapporté que les animaux qui participaient à un régime d'exercice prolongé montraient des performances significativement meilleures dans une variété de tâche d'apprentissage spatial (Anderson et al., 2000; Fordyce & Farrar, 1991; Fordyce & Wehner, 1993). Les recherches utilisant un modèle animal permettent donc d'établir des pistes d'investigation quant à l'effet de

l'exercice aérobie sur le cerveau humain à travers une variété de mécanismes cellulaires et moléculaires. Ainsi certains chercheurs ont proposé différentes hypothèses pour expliquer le lien entre la condition physique et la cognition chez l'homme, comme l'augmentation de la vascularisation des tissus du cerveau (Dustman et al., 1990; Rogers, Meyer, & Mortel, 1990).

Chez l'homme, le développement récent des méthodes de neuro-imagerie permet d'envisager le mode d'action de l'activité physique sur le fonctionnement cérébral. Par exemple, les découvertes récentes utilisant l'approche "*voxel-based morphometric*" (VBM), qui permet une analyse détaillée des images du cerveau à haute résolution, montrent que les pertes de la substance grise et de la substance blanche liées à l'âge tendent à être plus élevées dans les régions frontales, préfrontales et temporales chez les personnes âgées (Colcombe et al., 2003; Raz, 2000) et qu'un meilleur niveau de condition cardiorespiratoire, mesuré à l'aide du $VO_2\text{max}$, est associé avec une perte réduite de la substance grise et de la substance blanche dans les aires touchées. Ainsi, la condition cardiorespiratoire aurait des effets significatifs sur les régions corticales qui sont fortement associées à l'intégrité des processus cognitifs qui supportent les fonctions exécutives. De tels résultats suggèrent que les effets complexes de l'amélioration et du maintien de la condition physique sur les structures et fonctions du cerveau pourraient jouer un rôle positif de défense contre les déclinis cognitifs associés à l'âge (Colcombe et al., 2004).

Conclusion

À la lumière des études récentes portant sur la condition physique des personnes âgées et le vieillissement cognitif, il s'avère évident que la pratique régulière d'une activité physique peut jouer un rôle crucial sur la vitalité cognitive des personnes âgées, en modulant le déclin de plusieurs fonctions. La relation positive entre la santé physique et la cognition, mise en lumière dans les études transversales, a récemment été confirmée par plusieurs études d'intervention dans lesquelles les personnes âgées participaient à un programme d'entraînement aérobic. Évidemment, on pourrait argumenter que le contact social associé à ce type d'intervention puisse jouer un rôle dans l'amélioration des performances cognitives observées chez les personnes entraînées. Sans écarter totalement cette possibilité, il est important de noter que les études impliquant des groupes contrôles effectuant des exercices de souplesse et d'étirement (Kramer, 1999) ne montrent pas d'effets bénéfiques. Les critiques des études d'entraînement physique peuvent également souligner la possibilité d'un biais de sélection des participants. Il est évident que ce type d'étude attire le plus souvent des personnes ayant déjà un bon niveau de santé physique, car il s'agit de programme impliquant une participation active (le plus souvent 1 heure, 3 fois par semaine pendant plusieurs mois). Toutefois, indépendamment de leur niveau de santé, il semble crucial de proposer aux personnes âgées des activités d'entraînement physique qui permettent d'améliorer la santé cardiorespiratoire tout en étant suffisamment conviviales pour favoriser l'adhérence.

Remerciements

Les auteurs reçoivent l'appui du Fond de Recherche en Santé du Québec (FRSQ) (Chercheur boursier à Louis Bherer), de l'Université du Québec à Montréal (Bourse d'excellence à Mélanie Renaud) et du Réseau de Formation interdisciplinaire en Recherche en Santé et Vieillessement (Bourse de doctorat à Mélanie Renaud).

Références

- Abourezk, T., & Toole, T. (1995). Effect of task complexity on the relationship between physical fitness and reaction time in older women. *Journal of Aging and Physical Activity, 3*, 251-260.
- Anderson, B. J., Rapp, D. N., Baek, D. H., McCloskey, D. P., Coburn-Litvak, P. S., & Robinson, J. K. (2000). Exercise influences spatial learning in the radial arm maze. *Physiology of Behavior, 70*(5), 425-429.
- Barnes, D. E., Yaffe, K., Satariano, W. A., & Tager, I. B. (2003). A longitudinal study of cardiorespiratory fitness and cognitive function in healthy older adults. *Journal of the American Geriatric Society, 51*(4), 459-465.
- Bherer, L., & Belleville, S. (2004). Age-related differences in response preparation: the role of time uncertainty. *The Journals of Gerontology B Psychological Sciences & Social Sciences, 59*(2), P66-74.
- Black, J. E., Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A., & Greenough, W. T. (1990). Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 87*(14), 5568-5572.
- Blair, S. N., Applegate, W. B., Dunn, A. L., Ettinger, W. H., Haskell, W. L., King, A. C., et al. (1998). Activity Counseling Trial (ACT): rationale, design, and methods. Activity Counseling Trial Research Group. *Medicine & Science in Sports & Exercises, 30*(7), 1097-1106.

- Bouchard, C., & Despres, J. P. (1995). Physical activity and health: atherosclerotic, metabolic, and hypertensive diseases. *Research Quarterly on Exercise and Sport*, 66(4), 268-275.
- Clarkson-Smith, L., & Hartley, A. A. (1989). Relationships between physical exercise and cognitive abilities in older adults. *Psychology & Aging*, 4(2), 183-189.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., et al. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *The Journals of Gerontology A Biological Sciences & Medical Sciences*, 58(2), 176-180.
- Colcombe, S. J., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, 14(2), 125-130.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., et al. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 101(9), 3316-3321.
- Cotman, C. W., & Engesser-Cesar, C. (2002). Exercise enhances and protects brain function. *Exercise and Sport Science Reviews*, 30(2), 75-79.
- Dustman, R. E., Emmerson, R. Y., Ruhling, R. O., Shearer, D. E., Steinhaus, L. A., Johnson, S. C., et al. (1990). Age and fitness effects on EEG, ERPs, visual sensitivity, and cognition. *Neurobiology of Aging*, 11(3), 193-200.
- Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, H. W., Shigeoka, J. W., et al. (1984). Aerobic exercise training and improved

- neuropsychological function of older individuals. *Neurobiology of Aging*, 5(1), 35-42.
- Fordyce, D. E., & Farrar, R. P. (1991). Physical activity effects on hippocampal and parietal cortical cholinergic function and spatial learning in F344 rats. *Behavior and Brain Research*, 43(2), 115-123.
- Fordyce, D. E., & Wehner, J. M. (1993). Physical activity enhances spatial learning performance with an associated alteration in hippocampal protein kinase C activity in C57BL/6 and DBA/2 mice. *Brain Research*, 619(1-2), 111-119.
- Gomez-Pinilla, F., Dao, L., & So, V. (1997). Physical exercise induces FGF-2 and its mRNA in the hippocampus. *Brain Research*, 764(1-2), 1-8.
- Gomez-Pinilla, F., So, V., & Kesslak, J. P. (1998). Spatial learning and physical activity contribute to the induction of fibroblast growth factor: neural substrates for increased cognition associated with exercise. *Neuroscience*, 85(1), 53-61.
- Hawkins, H. L., Kramer, A. F., & Capaldi, D. (1992). Aging, exercise, and attention. *Psychology & Aging*, 7(4), 643-653.
- Hawkins, S., & Wiswell, R. (2003). Rate and mechanism of maximal oxygen consumption decline with aging: implications for exercise training. *Sports Medicine*, 33(12), 877-888.
- Heath, G. W., Hagberg, J. M., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1981). A physiological comparison of young and older endurance athletes. *The Journal of Applied Physiology*, 51(3), 634-640.

- Hillman, C. H., Weiss, E. P., Hagberg, J. M., & Hatfield, B. D. (2002). The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. *Psychophysiology*, *39*(3), 303-312.
- Kline, G. M., Porcari, J. P., Hintermeister, R., Freedson, P. S., Ward, A., McCarron, R. F., et al. (1987). Estimation of VO_2 max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Medicine & Science in Sports & Exercises*, *19*(3), 253-259.
- Kramer, A. F., Bherer, L., Colcombe, S. J., Dong, W., & Greenough, W. T. (2004). Environmental influences on cognitive and brain plasticity during aging. *The Journal of Gerontology A Biological Sciences & Medical Sciences*, *59*(9), M940-957.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., et al. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, *400*(6743), 418-419.
- Neeper, S. A., Gomez-Pinilla, F., Choi, J., & Cotman, C. (1995). Exercise and brain neurotrophins. *Nature*, *373*(6510), 109.
- Paffenbarger, R. S., & Hale, W. E. (1975). Work activity and coronary heart mortality. *New England Journal of Medicine*, *292*(11), 545-550.
- Paffenbarger, R. S., Wing, A. L., & Hyde, R. T. (1978). Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni. *The American Journal of Epidemiology*, *108*(3), 161-175.

- Park, D. C., & Gutchess, A. H. (2002). Aging, cognition, and culture: a neuroscientific perspective. *Neurosciences and Biobehavior Reviews*, 26(7), 859-867.
- Pencea, V., Bingaman, K. D., Wiegand, S. J., & Luskin, M. B. (2001). Infusion of brain-derived neurotrophic factor into the lateral ventricle of the adult rat leads to new neurons in the parenchyma of the striatum, septum, thalamus, and hypothalamus. *The Journal of Neurosciences*, 21(17), 6706-6717.
- Pescatello, L. S., & DiPietro, L. (1993). Physical activity in older adults. An overview of health benefits. *Sports Medicine*, 15(6), 353-364.
- Préfaut, C., Fabre, C., & Masse-Biron, J. (1998). Aptitude physique aérobie et vieillissement. Effets de l'entraînement. In H. Périé, & Jeandel, C. (Ed.), *Réussir son avancée en âge. Évaluation des activités physiques en gérontologie*. (pp. 27-39). Paris: Frison-Roche.
- Raz, N. (2000). Aging of the Brain and Its Impact on Cognitive Performance : Integration of Structural and Functional Findings. In F. I. M. Craik, & Salthouse, T.A. (Ed.), *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 1-90). New Jersey :: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rikli, R. E., & Edwards, D. J. (1991). Effects of a three-year exercise program on motor function and cognitive processing speed in older women. *Research Quarterly on Exercise & Sport*, 62(1), 61-67.

- Rogers, R. L., Meyer, J. S., & Mortel, K. F. (1990). After reaching retirement age physical activity sustains cerebral perfusion and cognition. *The Journal of the American Geriatric Society*, 38(2), 123-128.
- Russo-Neustadt, A., Ha, T., Ramirez, R., & Kesslak, J. P. (2001). Physical activity-antidepressant treatment combination: impact on brain-derived neurotrophic factor and behavior in an animal model. *Behavior and Brain Research*, 120(1), 87-95.
- Shay, K. A., & Roth, D. L. (1992). Association between aerobic fitness and visuospatial performance in healthy older adults. *Psychology & Aging*, 7(1), 15-24.
- Silver, M. H., Jilinskaia, E., & Perls, T. T. (2001). Cognitive functional status of age-confirmed centenarians in a population-based study. *The Journals of Gerontology B Psychological Sciences & Social Sciences*, 56(3), P134-140.
- Spiriduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *The Journal of Gerontology*, 30(4), 435-440.
- United Nations. World Population Prospects: The 2004 Revision Population Database (page consultée le 28 février 2004)
- van Praag, H., Christie, B. R., Sejnowski, T. J., & Gage, F. H. (1999). Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 96(23), 13427-13431.

- van Praag, H., Kempermann, G., & Gage, F. H. (1999). Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *National Neurosciences*, 2(3), 266-270.
- Yaffe, K., Barnes, D., Nevitt, M., Lui, L. Y., & Covinsky, K. (2001). A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women: women who walk. *Archives of Internal Medicine*, 161(14), 1703-1708.

CHAPITRE 2 : Contexte expérimental

Questions de recherche

Certains constats émergent de la présente revue de littérature et limitent la portée des résultats observés en ce qui a trait aux bienfaits de la condition physique sur la cognition des personnes âgées.

Dans les études impliquant des tâches de temps de réaction (TR), les résultats obtenus jusqu'à maintenant semblent intéressants pour différentes raisons. D'abord, parce que ces tâches sollicitent des habiletés fonctionnelles perceptivo-motrices, mais aussi, parce que les tâches de TR simple et de TR au choix reflètent, en partie, l'intégrité du système nerveux central. Or, les résultats des études rapportés dans le Chapitre 1 sont quelque peu contradictoires. Dans les études qui mettent en relation la condition physique et la performance des aînés aux tâches de TR, certains auteurs suggèrent que la condition physique devrait permettre une meilleure performance dans les tâches plus complexes, puisque celles-ci sollicitent davantage de processus cognitifs contrôlés ou exécutifs (e.g., prise de décision, sélection de la réponse). Ainsi, on devrait observer un avantage plus marqué d'une meilleure condition physique dans les tâches de type TR au choix plutôt que dans les tâches de TR simple. Hall, Smith, & Keele (2001) ont d'ailleurs émis cette hypothèse en suggérant que chez les personnes âgées, les tâches cognitivement plus complexes sont davantage touchées, et devraient par le fait même s'améliorer davantage que les tâches plus simples, en fonction du niveau d'activité physique de la personne. Toutefois, en ce qui a trait aux études transversales, Abourezk & Toole (1995) seraient les seuls à avoir démontré un avantage des aînés actifs dans une tâche de TR au choix, en montrant des performances équivalentes pour les groupes actif et sédentaire dans la tâche de TR simple. Pour leur part, Clarkson-Smith & Hartley (1989) et Spirduso (1975) ont montré de meilleurs résultats des personnes âgées actives à la fois dans des tâches de TR simple et de TR au choix. Les résultats des études d'intervention (Dustman et al., 1984; Rikli & Edwards, 1991) n'ont montré de meilleurs

résultats pour les aînés physiquement actifs que dans les tâches de TR simple. Étant donné la relation observée dans les études antérieures entre la condition physique et les performances aux tests exigeant du contrôle attentionnel, il est possible de penser que même si elles paraissent plus simples, les tâches de TR simple font appel à un processus attentionnel volontaire qui serait moins susceptible d'influencer la performance en condition de TR au choix, puisque dans les tâches de TR au choix la réponse n'est pas connue d'avance. Il est donc possible que les processus préparatoires pourraient jouer un rôle important dans l'effet de la condition physique sur les performances aux tâches de TR simple. En effet, il est bien connu que les tâches de TR simple sont plus sensibles aux effets de la préparation à répondre que les tâches de TR au choix, et que la préparation à répondre est un aspect contrôlé de l'attention qui est très sensible au vieillissement normal (Bherer & Belleville, 2004).

D'un point de vue cognitif, la préparation à répondre correspond à l'habileté de préparer une réponse optimale à un stimulus futur. Par exemple, quand un conducteur attend que le feu de circulation tourne au vert, plus spécialement s'il est pressé, son pied sera de plus en plus prêt à appuyer sur l'accélérateur à mesure que le temps passe et que le feu de circulation est rouge. Expérimentalement, la préparation temporelle a été grandement étudiée à l'aide d'études manipulant la durée de la « période préparatoire » (*foreperiod*), qui correspond au temps écoulé entre un signal préparatoire et un stimulus auquel il faut répondre. Il a été démontré que lorsqu'une série d'intervalles préparatoires (IP) est aléatoirement présentée à partir d'une distribution rectangulaire, tel que chacun des IP ont la même probabilité d'occurrence à chacun des essais, le temps de réaction sera plus lent pour des IP plus courts et plus rapide pour les IP plus longs. C'est ce que l'on appelle un effet d'IP variable (Niemi & Näätänen, 1981). Quand chacun des IP apparaît le même nombre de fois dans la série, il est impossible de prédire le moment exact auquel le stimulus réponse va apparaître à chacun des essais. Toutefois, le passage du temps procure une information sur la prochaine apparition du stimulus; à mesure que

le temps passe durant l'IP sans que le stimulus réponse n'apparaisse, la probabilité conditionnelle que le stimulus réponse soit présenté augmente. À ce jour, aucune étude n'a exploré l'impact de la condition physique sur les effets de préparation temporelle telle qu'observée dans les tâches de TR simple.

La majorité des études affirme que ce sont les fonctions exécutives qui sont les plus touchées dans le vieillissement normal et qu'il s'agit également des fonctions qui répondent le mieux à l'entraînement physique. Les études récentes suggèrent que les fonctions exécutives reposent sur plusieurs composantes cognitives élémentaires, soit l'inhibition, la préparation à répondre, la flexibilité, etc. (Stuss et al., 2005) et que ces composantes ne sont pas touchées de façon homogène au cours du vieillissement (Bherer, Belleville & Hudon, 2004). Il est possible que l'impact de la condition physique module différemment les mécanismes exécutifs élémentaires. Aucune étude n'a précisé les composantes des fonctions exécutives qui bénéficient davantage de l'activité physique au cours du vieillissement normal.

De plus, dans la plupart des études, les participants sont majoritairement âgés entre 55 et 80 ans sans que l'on fasse de distinction entre les niveaux d'âge (jeunes-âgés versus âgés-âgés). Comme la santé cardiorespiratoire décline de façon progressive avec l'âge il est permis de croire que les bienfaits de la condition physique ne soient pas de même amplitude selon l'âge des personnes évaluées.

Enfin, un dernier facteur qui demande à être exploré davantage est l'effet d'un programme d'entraînement physique sur la cognition des personnes âgées en tenant compte du niveau de base de la condition physique des participants. Etnier, Nowell, Landers, & Sibley (2006) suggèrent que la relation entre la condition physique et la cognition diffère en fonction de l'âge et de l'état de santé des participants, de la méthode utilisée pour mesurer la condition physique, ainsi que de la batterie de tests cognitifs

utilisée. Dans la deuxième étude de cette thèse, le niveau de condition physique des participants avant leur engagement dans un programme d'entraînement physique sera pris en compte.

Objectifs

Cette thèse vise à mieux comprendre la relation entre la condition physique, évaluée notamment par la santé cardiorespiratoire, et le vieillissement cognitif, avec un intérêt particulier pour les fonctions exécutives.

Première étude

La première étude proposée a été élaborée pour apporter quelques éléments de réponse aux questions soulevées précédemment en ce qui concerne les effets de la condition physique sur la cognition des aînés. 1) Pour mieux comprendre l'effet de la condition physique sur les différences liées à l'âge observées dans les tâches de type temps de réponse et le rôle potentiel des processus exécutifs préparatoires, des aînés de différents niveaux de condition physique seront comparés à une tâche classique de préparation à répondre. 2) Afin de mieux documenter quels sont les mécanismes potentiellement protégés par une meilleure condition physique, des tests neuropsychologiques permettant d'isoler la contribution de différents mécanismes élémentaires (inhibition, flexibilité, alternance, etc.) seront utilisées. 3) Afin d'évaluer si, chez les personnes âgées, l'impact de la condition physique sur la cognition varie selon l'âge des participants, les aînés de moins de 70 ans et ceux de 70 ans et plus seront comparés. Ainsi, il sera permis d'évaluer si la relation entre la santé cardiorespiratoire et la cognition s'accroît, diminue ou reste stable avec l'avancement en âge.

Deuxième étude

La première étude devrait permettre de mieux comprendre l'impact de la condition physique des aînés sur la cognition. Toutefois, il demeure que l'utilisation d'un devis transversal (comparaison de groupes d'âge et de niveaux de condition physique différents) en limite la portée. En effet, il est possible qu'un autre facteur associé à la condition physique caractérise les personnes qui participent à une activité sportive régulière et que ce dernier rende compte de leur meilleure performance cognitive. Il est possible également d'imaginer que les aînés cognitivement moins alertes au départ tendent à avoir un mode de vie plus sédentaire. La seconde étude de la thèse vise à établir cette relation causale entre l'amélioration de la santé physique et l'augmentation de la vitalité cognitive chez les aînés. Le principal objectif de cette seconde étude est de déterminer les effets d'un programme d'entraînement prolongé de la condition physique (par le biais d'activités physiques choisies) sur le fonctionnement cognitif des adultes âgés, en insistant particulièrement sur les aspects de contrôle exécutif du comportement cognitif qui auront été ciblés dans la première étude. De plus, dans cette étude, le niveau de condition physique de base, élément n'ayant jamais été pris en considération dans les études antérieures, servira à distinguer les participants âgés présentant un bon niveau de condition physique versus un niveau plus sédentaire avant leur engagement dans l'étude. Cela nous permettra d'évaluer l'effet du programme d'entraînement physique sur la cognition en fonction du niveau de condition physique.

Afin de répondre à ces objectifs de recherche, une batterie de tests neuropsychologiques ainsi qu'une tâche informatisée seront administrées aux participants. Les résultats obtenus à ces épreuves cognitives seront ensuite comparés pour permettre de vérifier la relation entre l'activité physique et le contrôle exécutif chez

les aînés présentant différent niveau de condition physique (étude 1) et suite à un programme d'entraînement physique (étude 2).

CHAPITRE 3: Première étude

Référence: **Renaud, M.**, Bherer, L., & Maquestiaux, F. (accepté) A High Level of Physical Fitness Is Associated with more Efficient Response Preparation in Older Adults. *The Journal of Gerontology: Psychological Sciences*

A High Level of Physical Fitness Is Associated with more Efficient Response
Preparation in Older Adults

Mélanie Renaud^{1,2}, Louis Bherer^{1,2} & François Maquestiaux³

¹Department of Psychology, Université du Québec à Montréal

²Centre de recherche, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal

³UFR STAPS, Université Paris-Sud, Orsay, France

Abstract

This study assessed the relationship between cardiovascular fitness and temporal preparation in elderly persons. One hundred ten older adults (aged 60-69 or 70-79), were sorted into low and high fit groups based on aerobic fitness level estimated by a walking test. Response preparation processes were assessed with reaction time tasks in which short (1, 3, 5 s) and long (5, 7, 9 s) preparatory intervals varied randomly. The results suggest a better ability in high fit individuals to prepare rapidly at short interval (1 s) and to maintain preparation over time (up to 9 s). Results of the present study suggest that in older adults, a high level of aerobic fitness is associated with more efficient response preparation processes.

Keywords: Cognitive aging, Physical fitness, Response preparation processes

Introduction

Age-related deficits in cognitive functions have often been reported. Yet, age-related cognitive changes are heterogeneous and executive functions are most sensitive to the advance in age, likely due to substantial changes in anterior frontal brain regions (Raz, 2000). However, recent findings suggest that age-related cognitive declines can be moderated by environmental and health factors (Kramer, Bherer, Colcombe, Dong, & Greenough, 2004). Regular physical activity is among lifestyle factors often associated with preserved cognitive functions with age.

Regular physical activity maintained throughout life has been associated with reduced incidence of cancer, diabetes, and heart disease (Booth, Gordon, Carlson, & Hamilton, 2000) and may help protect against age-related cognitive decline. Studies have also shown that cardiorespiratory health is associated with preserved cognitive performances in tasks that measure attention and executive functions (Colcombe & Kramer, 2003).

Reaction time (RT) tasks have often been used to assess the relationship between physical fitness and cognitive performances. Spirduso (1975) compared performances of younger and older adults that were either regular racket and handball players or non-active individuals. They found that non-active older adults produced slower responses than younger (active and non-active) and older active individuals in both simple and choice RT tasks. Clarkson-Smith and Hartley (1989) also compared performances of physically active and sedentary elderly participants (aged 55-91), and observed faster

responses in active participants in both simple and choice RT tasks. Moreover, increasing response choices induced larger increases in RT in sedentary compared to active individuals. Abourezk and Toole (1995) also observed an advantage for active over non-active women aged over 60, but only in a choice RT task.

The studies reported above suggest that regular physical activity is associated with better performances on RT tasks. This set of results lends support to the notion that fitness training might improve controlled aspects of cognition (Hall, Smith, & Keele, 2001). Intervention studies, in which older adults engaged in a physical fitness training program also tend to confirm that attentional control functions can be improved with fitness training in older adults. In Kramer et al. (1999)'s study, two groups of sedentary elderly participants aged between 60 and 75 years old, were assigned either to an aerobic program (walking) or to a non-aerobic control group (stretching). The authors observed that the performances of participants in the aerobic group improved on several cognitive tasks (*Answer compatibility Task, Task switching, Stop signal*), but more so, in task conditions that required executive or controlled functions. The greater benefits of fitness training on executive functions are also consistent with the results of a meta-analysis on 18 intervention studies with participants aged 60 years and older (Colcombe & Kramer, 2003).

It is interesting to note however that in some studies the benefits of physical fitness on performances have been reported in simple as well as in choice RT tasks, without clear evidence for larger benefits in more complex tasks. One potential

explanation for this result is that simple RT tasks often involve controlled aspects of attention before stimulus occurrence if anticipation or response preparation can take place (Niemi & Näätänen, 1981). Preparatory processes, which are supported by executive functions, are a voluntary or attention-demanding set of strategic behaviours that sustain the development of an optimal processing state prior to the execution of movement (Stuss, Shallice, Alexander, & Picton, 1995). In RT tasks, a warning signal indicates to the participant to prepare for an upcoming stimulus occurring after a preparatory interval (PI). If the PI varies between trials, the probability of stimulus occurrence increases with time after the warning signal. For example, consider the use of three PIs of 1, 2, and 3 s, each occurring randomly but equally often in a block of trials. In a given trial the probability that the response signal will occur after 1 s is .33 and increases to .50 at 2 s. If no signal occurs after 2 s, the probability that it will occur at 3 s is 1. This produces a preparatory function according to which RT gets shorter as PI duration increases. This temporal preparation phenomenon is more likely to take place if the appropriate response is known in advance, as in a simple RT task (Niemi & Näätänen, 1981). Thus, simple RT tasks often show larger response preparation effects than choice RT tasks (Henderson & Dittrich, 1998).

Recent studies have shown that response preparation is a controlled attentional process, which relies on the integrity of the frontal cortex (Stuss, Shallice, Alexander, & Picton, 1995; Vallesi, Mussoni et al., 2007; Vallesi, Shallice, & Walsh, 2007) and that it is impaired with advancing age (Bherer & Belleville, 2004; Salthouse, 1985). Salthouse

(1985) has proposed that older adults can show two forms of inefficient preparation; an incapacity to develop an optimal prepared state rapidly and, an inability to maintain preparation over time. Other studies have shown that older adults can also show a reduced preparation for unlikely events (Lahtela, Niemi, & Kuusela, 1985). As a result, larger age-related deficits can be observed for stimulus associated with a low probability of occurrence than when the stimulus is more likely to occur (Bherer & Belleville, 2004).

Hillman, Weiss, Hagberg, & Hatfield (2002) reported that age-related deficits in response preparation could be attenuated by aerobic fitness condition. In a cross-sectional design the authors compared older and younger adults of different fitness levels using a visual discrimination task and recorded an electrophysiological marker of response preparation (the contingent negative variation, CNV). The authors observed that the amplitude of the CNV was reduced in both younger adults and older fit individuals relative to older sedentary adults. They argued that older adults with better physical condition engaged less cognitive resources to prepare a speeded response, which suggests a more efficient response preparation. However, these results are limited to non-specific temporal preparation, as the participants performed a choice RT task. Moreover, the authors did not distinguish among aspects that might be enhanced with greater fitness condition; i.e. the ability to prepare for uncertain events, to maintain preparation over time or to prepare quickly for a speeded action.

In order to further investigate the potential relationship between aerobic fitness and response preparation, the present study used simple and choice RT tasks in which temporal parameters were varied to generate specific preparatory effects that have been shown to be sensitive to age-related differences (Bherer & Belleville, 2004; Salthouse, 1985). Moreover, the experimental task provides a measure of both initiation and motor times. This allows one to dissociate the benefits of physical fitness on attentional control processes involved in response preparation, from the mere enhancement in motor speed.

Method

Participants

One-hundred ten community dwellers aged between 60 and 79 years-old participated in this study. They were recruited through advertising announcements and at a physical training center for the elderly. Participants were sorted into low and high fit groups based on VO_2 max estimated for the entire sample (median split $19.83 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Fifty-five older adults were classified as low fit (mean age 69.89) and 55 as high fit individuals (mean age 68.36). In each group, participants were further divided by age (60-69 and 70-79). The low fit group was composed of 25 participants aged between 60 and 69 years-old (mean age 65.32) and 30 participants aged between 70 and 79 years-old (mean age 74.47). In the high fit group, 35 participants formed the 60-69 group (mean age 64.06) and 20 formed the 70-79 group (mean age 72.65).

All participants completed a telephone interview that assessed physical health and life habits, and a perceptual screening questionnaire for visual or auditory

impairments. No participants reported history of neurological disease or major surgery in the year preceding the study. The Mini Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975; cut-off score < 26/30) and the Geriatric Depression Scale (GDS, Yesavage et al., 1983; cut-off score > 10/30) were used to exclude participants suffering from dementia or depression. Participants' general cognitive abilities were also assessed with the Similarities sub-test of the WAIS-III. All participants signed a consent form before engagement in the study. Participants' characteristics are shown in Table 1.

Participants were screened for cardiovascular disease or vascular peripheral attacks and moderate to severe hypertension based on self-report. Participants also completed the modified questionnaire of aptitude to physical activity (QAA-P) to detect persons at risk of engaging in intense physical activity.

Procedure

All participants completed two testing sessions within the same week. In the first session they completed the MMSE, the GDS, the Similarities subtest, the Q-AAP and the Modifiable Activity Questionnaire (see below). In the second session, they completed the computerized RT tasks and the cardiorespiratory fitness assessment.

Cardiorespiratory fitness assessment. The Rockport one-mile walk test (Kline et al., 1987) was used to estimate cardiorespiratory fitness. This sub-maximum cardiovascular stress test provides an accurate estimate of the maximum level of oxygen consumption ($VO_2\text{max}$). In fact, Kline et al. (1987) have reported a correlation coefficient of .88 between $VO_2\text{max}$ estimated based on performances during the

Rockport one-mile test and a direct measure of VO_2max during an increment test on a treadmill. Participants were required to walk one mile without stopping, as fast as possible. They were equipped with a Polar S120 Heart rate Monitor (Polar Electro, Lake Success, NY, USA). Time required to complete the distance was manually recorded on a stopwatch. Heart rate frequency was recorded one minute after the end of the walking test. VO_2max was estimated based on Equation 2 provided by Kline et al., (1987)¹ that takes into account participants' weight, age, sex, cardiac frequency post-exercise, and time taken to cover the one-mile distance. Participants also completed the Modifiable Activity Questionnaire (MAQ, Vuillemin et al., 2000) to evaluate the level of physical activity over the twelve past months.

RT tasks. Response preparation was assessed with a RT paradigm that has shown age-related differences in response preparation (Bherer & Belleville, 2004). Participants completed a simple and a choice RT task in which they started each trial by pressing a central button on a response box with the index finger. They had to maintain the home key pressed down until the response signal occurred. An auditory signal occurring at the beginning of the trial served as preparatory signal. The response signal was a black circle appearing in the center of the screen (simple RT) or either on the right

¹ Kline et al. (1987) provided two Equations to estimate VO_2max based on the performances obtained at the Rockport one-mile test. Equation 1 provides VO_2max estimate expressed in $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ and Equation 2 a VO_2max estimate expressed in $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Equation 2 provides a more precise estimation and was used in the present study. Kline et al. (1987) reported a correlation coefficient of .88 between VO_2max estimation based on Equation 2 and a direct VO_2max assessment during an increment test. The formulae provided by Kline et al. (1987) take into account participants' weight (WT), age, sex, the time to complete 1 mile, and heart rate at the end of the one-mile walking test (HR). Equation 2: $\text{VO}_2\text{max} = 132.853 - (.0769 \times \text{WT}) - (.3877 \times \text{AGE}) + (6.3150 \times \text{SEX}) - (3.2649 \times \text{TIME}) - (.1565 \times \text{HR})$, $r = .88$, $\text{SEE} = 5.0 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

or the left side of a white circle located in the center of the screen (choice RT). In the simple RT task, the participant had to press the response key located on the right side of the home key with the index finger. In the choice RT task, the response button corresponded to the position of the black circle (left or right). In both, the choice and the simple RT tasks, temporal preparation was assessed using preparatory intervals (PI) embedded in a short (PI of 1, 3, 5 s) and a long (PI of 5, 7, 9 s) temporal window. In each window, the three PIs varied randomly and unexpectedly between trials. The presentation order of the long and short duration conditions was counterbalanced across participants. Participants were asked to respond as quickly and accurately as possible to each trial. Dependent variables were initiation time (IT), which corresponds to the latency elapsed between the response signal and the release of the home key, and execution time (ET), measured by the time to move from the home key to the response key. Error rates were also recorded.

Results

Participants' characteristics

Participants' characteristics are presented in Table 1. These scores were compared using ANOVAs for each variable separately, with Fitness and Age groups as between subject factors. Results showed that participants in the low fit and the high fit groups of each Age groups were comparable with respect to score at the MMSE, $F(1, 106) < 1$, general mental abilities, $F(1, 106) = 1.63$, *ns*, and the GDS, $F(1, 106) < 1$. However, there was a significant difference in the school education level between the

Age groups, $F(1, 106) = 9.83, p < .01, \eta^2 = .09$, older participants having completed less years of education (11.70) than younger participants (13.90). Age groups differed on age, $F(1, 106) = 254.35, p < .001, \eta^2 = .71$, and fitness level, $F(1, 106) = 7.67, p < .01, \eta^2 = .07$; participants being slightly older in the low fit group (69.89) compared to the high fit group (68.35). However, there was no interaction between fitness level and age, which suggests that the age difference was equivalent between Fitness groups.

Cardiorespiratory fitness assessment

An ANOVA performed on results of the Rockport one-mile test showed a significant difference between Fitness groups on VO_2 max estimate ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), $F(1, 106) = 145.34, p < .001, \eta^2 = .58$, (low fit; 13.72, high fit; 26.43) and between Age groups, $F(1, 106) = 9.05, p < .01, \eta^2 = .08$, (60-69; 21.66, 70-79; 18.49). Importantly, there was no interaction between age and fitness level, which suggests that age-related differences on VO_2 max estimate, were equivalent between Fitness groups. There was a significant difference between Fitness groups on walking time, $F(1, 106) = 64.78, p < .001, \eta^2 = .38$, as low fit participants took more time to walk the mile (19.56 min) than high fit participants (16.82 min). Walking time also differed with age, $F(1, 106) = 4.46, p < .05, \eta^2 = .04$, as the 60-69 group walked the mile faster (17.83 min) than the 70-79 group (18.55 min). Again there was no interaction between fitness level and age, $F(1,$

106) = 1.00, *ns*. There was no significant difference between Fitness or Age groups, or interaction between these factors at the MAQ².

RT tasks

Response times were included in the analyses for correct answers only³. Trials were not included in the analysis if IT was shorter than 100 ms or if the global response time (IT + ET) was longer than 3000 ms. Given that school education level differed between age groups, IT and ET were analysed using an ANCOVA with school education level as covariate. The model involved two between subject factors (Fitness and Age) and three within-subject factors (Task, Duration condition, and PI). For repeated factors, an effect is reported significant according to the adjusted alpha level (Huynh-Feldt) if Mauchly's test of sphericity reached significance.

The ANCOVA (with School education as covariate, $F(1, 105) = 9.14, p < .01, \eta^2 = .08$), performed on IT, revealed main effects of Age group, $F(1, 105) = 4.11, p < .05, \eta^2 = .04$, Task, $F(1, 105) = 9.74, p < .01, \eta^2 = .09$, and PI, $F(1.5, 156.1) = 37.60, p < .001, \eta^2 = .26$. Participants of the 60-69 group were faster (372 ms) than those in the 70-79 group (398 ms). IT was shorter in the simple task (353 ms) than in the choice task

² Note that two persons did not complete the MAQ.

³ Two types of errors could be produced in the preparation tasks. In both tasks, anticipation errors (AE) consisted in leaving the home key before the response stimulus actually occurred. Incorrect responses (IR) could be produced in the choice RT task only. Overall, participants produced very few AE and IR. Respectively for the simple and the choice RT tasks, percentage of AE produced was .03 and .04 in the low fit 60-69 group, .05 and .04 in the high fit 60-69 group, .09 and .05 in the low fit 70-79 group, and .09 and .07 in the high fit 70-79 group. Percentage of IR produced was .00 in the low fit 60-69 group, .00 in the high fit 60-69 group, .00 in the low fit 70-79 group, and .01 in the high fit 70-79 group.

(417 ms) and also decreased with the length of the PI (1st PI; 436 ms, 2nd PI; 364 ms, 3rd PI; 355 ms).

The analysis also showed a significant interaction of Age group x Task, $F(1, 104) = 4.14, p < .05, \eta^2 = .04$, which was due to a significant age-related difference in the choice RT task, $F(1, 105) = 5.11, p < .05, \eta^2 = .05$, (399 ms and 435 ms respectively for the 60-69 and the 70-79 groups), but not in the simple RT task, $F(1, 105) = 1.96, n.s.$, (345 ms and 361 ms respectively for the 60-69 and the 70-79 groups).

There were also two-way interactions of Task x PI, $F(1.6, 172.3) = 5.97, p < .01, \eta^2 = .05$, and Duration condition x PI, $F(1.4, 151.4) = 35.93, p < .001, \eta^2 = .26$. These interactions are typically observed with a variable PI design in which the PI effect tends to be larger in simple compared to choice RT tasks and steeper in short compared to long (> 5 s) temporal windows (Niemi & Näätänen, 1981).

Of major interest for the present study, the analysis also revealed a significant Fitness group x Duration condition x PI interaction, $F(1.4, 151.4) = 6.76, p < .01, \eta^2 = .06$. Adjusted means are depicted in Figure 1. Follow-up analyses showed a significant difference in the short temporal window between the low and the high fit groups at the 1st PI, $F(1, 107) = 6.16, p < .05, \eta^2 = .05$, and a difference that was marginally significant at the 3rd PI, $F(1, 107) = 3.72, p = .056, \eta^2 = .03$. In the long time window, a difference was observed between the high and the low fit groups at the 2nd PI, $F(1, 107) = 3.81, p < .05, \eta^2 = .03$, and the 3rd PI, $F(1, 105) = 5.16, p < .05, \eta^2 = .05$.

The ANCOVA (with School education as covariate) performed on ET revealed a main effect of Fitness group, $F(1, 105) = 18.26, p < .001, \eta^2 = .15$. There was also a significant two-way interaction of Fitness group x PI, $F(2, 157.2) = 3.78, p < .05, \eta^2 = .04$, whereas the Fitness group x Duration condition interaction almost reached significance, $F(1, 105) = 3.88, p = .052, \eta^2 = .04$. This second order interaction was qualified by a three-way interaction of Fitness group x Age group x Duration condition, $F(1, 105) = 4.81, p < .05, \eta^2 = .04$. This interaction is depicted in Figure 2. Further analyses performed separately for the short and the long time windows showed that in the short condition, high fit individuals of the 70-79 group produced faster (212 ms) responses than low fit individuals (315 ms), $F(1, 47) = 14.00, p < .001, \eta^2 = .23$. ET did not differ between fitness groups in the short temporal window for participants in the 60-69 group, $F(1, 57) = 2.19, n.s.$ For the long duration condition, high fit individuals also produced faster responses than low fit participants and this was significant in both the 60-69 group, $F(1, 57) = 8.19, p < .01, \eta^2 = .13$, and the 70-79 group, $F(1, 47) = 10.78, p < .01, \eta^2 = .19$.

Discussion

This study investigated the relationship between aerobic fitness level and response preparation in older adults using simple and choice RT tasks in which temporal parameters were varied to generate specific preparatory effects that have been shown to be sensitive to age-related differences in previous studies (Bherer & Belleville, 2004).

The results suggest that attentional control mechanisms supporting temporal preparation are sensitive to the level of physical fitness in older adults. In fact, the analyses of initiation time indicated that participants showing higher levels of fitness condition have a better capacity to develop an optimal prepared state rapidly compared to low fit individuals. Additionally, high fit individuals were able to maintain a higher level of preparation over a long period of time, up to 7 and 9 seconds. The findings of the present study suggest that in older adults aged between 60 and 79, maintaining a high level of physical fitness condition is associated with better response preparation in RT tasks. This is not a trivial finding given that age-related deficits in response preparation as assessed in the present study have been observed in previous studies (Bherer & Belleville, 2004).

An interaction between age and fitness condition also emerged in execution time (movement time from the home-key to the response key). In fact, among participants of the older groups (aged 70-79), low fit individuals showed longer execution time than high fit participants. This suggests that fitness condition may have a protective effect against age-related slowing in the execution of speeded motor responses.

The results of this study can help understand the relationship between physical fitness and response preparation in older adults. Previous studies (Bherer & Belleville, 2004; Lathela et al., 1985; Salthouse, 1985) have suggested that response preparation can be altered by normal aging in three different ways: 1) an incapacity to develop an optimal prepared state rapidly, 2) an inability to maintain preparation over a long time

period, 3) a failure to prepare for events that have a low subjective probability. In the present study, the use of three variable preparatory intervals (PI) embedded in two temporal windows of different durations allowed to assess the difference between high and low fit individuals on these three sources of preparation deficits. The fact that high fit individuals showed a better preparation for the short PI of the shortest temporal window but not for the short PI of the longest temporal window suggests that the ability to use the subjective probability to prepare for an upcoming event does not differ as a function of fitness level. In fact, this would have led to observe shorter response latencies in high fit individuals at the shortest interval of the PI distribution independently of the absolute interval duration, thus an equivalent advantage at 1 s and 5 s for the short and long duration window respectively. Rather, a high fitness level might help older adults to prepare fast responses at very short intervals (1 s). Indeed, the significant difference between the low and the high fit groups at the 1st PI of the short temporal window suggested that high fit individuals need less time to achieve an optimal prepared state. Moreover, findings from this study suggest that physical fitness could help maintaining preparation over time. Indeed, high fit individuals responded faster than low fit participants at the 2nd (7 s) and the 3rd PI (9 s) of the long temporal window, which suggests a greater ability to sustain an optimal preparation state over long delays. These results are in line with previous studies showing that aerobic fitness is associated with more efficient motor preparation in older adults (Hillman et al., 2002). The present study extends this finding to response preparation abilities that rely on

temporal parameters of the task. The implication of this finding would be that maintaining a high level of fitness condition might help older adults to better synchronize an action in time.

One limit of the present study was the use of an indirect measure of cardiorespiratory fitness. Although the Rockport one-mile test does not provide a direct measure of $VO_2\text{max}$, it is a convenient test to use with sedentary older persons. Moreover, previous studies have suggested that $VO_2\text{max}$ estimation with the Rockport 1-mile test is highly correlated with direct measure of $VO_2\text{max}$ (Kline et al., 1984). Be that as it may, the results reported in this study suggest that physical fitness, and more specifically aerobic fitness, may help maintaining more efficient preparation processes in aging.

It has been shown that the benefit of physical fitness on cognition in older adults is larger in tasks that tap executive functions or attentional control (Colcombe & Kramer, 2003; Kramer et al., 1999). The present study provides further support to this by showing that physical activity may help maintain efficient response preparation processes in healthy older adults. Many tasks that we perform every day, such as driving, entail substantial executive control demands. Response preparation also seems to be important in every-day life situations, given that we often have to produce fast and accurate responses at unfixed and unpredictable moments (e.g., stopping at the intersection when a pedestrian crosses the street). Whether the positive effects of physical fitness on response preparation extend to activities of daily living must await

further studies. Moreover, physical fitness intervention studies would allow confirming the causal link between enhanced fitness condition through physical exercise and improvement in response preparation processes in older adults.

Word count for the main text = 4177

References

- Abourezk, T., & Toole, T. (1995). Effect of task complexity on the relationship between physical fitness and reaction time in older women. *Journal of Aging and Physical Activity, 3*, 251-260.
- Bherer, L., & Belleville, S. (2004). Age-related differences in response preparation: the role of time uncertainty. *The Journal of Gerontology B Psychological Sciences and Social Sciences, 59*(2), P66-74.
- Booth, F. W., Gordon, S. E., Carlson, C. J., & Hamilton, M. T. (2000). Waging war on modern chronic diseases: primary prevention through exercise biology. *The Journal of Applied Physiology, 88*(2), 774-787.
- Clarkson-Smith, L., & Hartley, A. A. (1989). Relationships between physical exercise and cognitive abilities in older adults. *Psychology & Aging, 4*(2), 183-189.
- Colcombe, S. & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science, 14*, 125-130.
- 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.
- Hall, C. D., Smith, A. L., & Keele, S. W. (2001). The impact of aerobic on cognitive function in older adults: A new synthesis based on the concept of executive control. *European Journal of Cognitive Psychology, 13*, 279-300.

- Henderson, L., & Dittrich, W. H. (1998). Preparing to react in the absence of uncertainty: I. New perspectives on simple reaction time. *British Journal of Psychology*, 89 (Pt 4), 531-554.
- Hillman, C. H., Weiss, E. P., Hagberg, J. M., & Hatfield, B. D. (2002). The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. *Psychophysiology*, 39(3), 303-312.
- Kline, G. M., Porcari, J. P., Hintermeister, R., Freedson, P. S., Ward, A., McCarron, R. F., et al. (1987). Estimation of VO_2 max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 19(3), 253-259.
- Kramer, A. F., Bherer, L., Colcombe, S. J., Dong, W., & Greenough, W. T. (2004). Environmental influences on cognitive and brain plasticity during aging. *The Journal of Gerontology A Biology Sciences and Medical Sciences*, 59(9), M940-957.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., et al. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400(6743), 418-419.
- Lahtela, K., Niemi, P., Kuusela, V., 1985. Adult visual choice-reaction time, age, sex and preparedness. A test of Welford's problem in a large population sample. *Scandinavian Journal of Psychology*, 26, 357-362.
- Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). Foreperiod and Simple Reaction Time. *Psychological Bulletin*, 89(1), 133-162.

- Raz, N. (2000). Aging of the Brain and Its Impact on Cognitive Performance: Integration of Structural and Functional Findings. In F. I. M. Craik, & Salthouse, T.A. (Ed.), *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 1-90). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Salthouse, T. A. (1985). Speed of behavior and its implications for cognition. In J. E. Birren, & Schaie, K.W. (Ed.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 400-426). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Spiriduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *Journal of Gerontology*, 30(4), 435-440.
- Stuss, D. T., Alexander, M. P., Shallice, T., Picton, T. W., Binns, M. A., Macdonald, R., et al. (2005). Multiple frontal systems controlling response speed. *Neuropsychologia*, 43(3), 396-417.
- Stuss, D. T., Shallice, T., Alexander, M. P., & Picton, T. W. (1995). A Multidisciplinary Approach to Anterior Attentional Functions. In J. Grafman, Holyoak, K. J., & Boller F. (Ed.), (pp. 191-211).
- Vallesi, A., Mussoni, A., Mondani, M., Budai, R., Skrap, M., & Shallice, T. (2007). The neural basis of temporal preparation: Insights from brain tumor patients. *Neuropsychologia*, 45(12), 2755-2763.
- Vallesi, A., Shallice, T., & Walsh, V. (2007). Role of the prefrontal cortex in the foreperiod effect: TMS evidence for dual mechanisms in temporal preparation. *Cerebral Cortex*, 17(2), 466-474.

Vuillemin, A., Oppert, J. M., Guillemin, F., Essermeant, L., Fontvieille, A. M., Galan, P., et al. (2000). Self-administered questionnaire compared with interview to assess past-year physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(6), 1119-1124.

Yesavage, J. A., Brink, T. L., Rose, T. L., Lum, O., Huang, V., Adey, M., et al. (1983). Development and validation of a geriatric depression screening scale: A preliminary report. *Journal of Psychiatric Research*, 17, 37-49.

Authors' notes

Mélanie Renaud, Centre de recherche, Institut universitaire de gériatrie de Montréal, 4565, chemin Queen Mary, Montréal, Québec, Canada, H3W 1W5 & Department of Psychology, Université du Québec à Montréal (UQÀM), Case postale 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8.

Louis Bherer, Centre de recherche, Institut universitaire de gériatrie de Montréal, 4565, chemin Queen Mary, Montréal, Québec, Canada, H3W 1W5 & Department of Psychology, Université du Québec à Montréal (UQÀM), Case postale 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8.

François Maquestiaux, JE 2494, UFR STAPS, Université Paris-Sud 11, Orsay, France.

This research was supported by a scientist fellowship from the Fonds de Recherche en santé du Québec to L. B.

We also wish to thank the participants for their diligence.

Correspondence concerning this article should be addressed to Louis Bherer, Department of Psychology, Université du Québec à Montréal (UQÀM), Case postale 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8. Phone: 514-987-3000 extension 1944. Fax: 514-987-7953. E-mail: bherer.louis@uqam.ca.

Footnotes

1. Kline et al. (1987) provided two Equations to estimate $VO_2\text{max}$ based on the performances obtained at the Rockport one-mile test. Equation 1 provides $VO_2\text{max}$ estimate expressed in $l.\text{min}^{-1}$ and Equation 2 a $VO_2\text{max}$ estimate expressed in $ml.kg^{-1}.\text{min}^{-1}$. Equation 2 provides a more precise estimation and was used in the present study. Kline et al. (1987) reported a correlation coefficient of .88 between $VO_2\text{max}$ estimation from based on Equation 2 and a direct $VO_2\text{max}$ assessment during an increment test. The formulae provided by Kline et al. (1987) take into account participants' weight (WT), age, sex, the time to complete 1 mile, and heart rate at the end of the one-mile walking test (HR). Equation 2: $VO_2\text{max} = 132.853 - (.0769 \times WT) - (.3877 \times AGE) + (6.3150 \times SEX) - (3.2649 \times TIME) - (.1565 \times HR)$, $r = .88$, $SEE = 5.0 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.
2. Note that two persons did not complete the MAQ.
3. Two types of errors could be produced in the preparation tasks. In both tasks, anticipation errors (AE) consisted in leaving the home key before the response stimulus actually occurred. Incorrect responses (IR) could be produced in the choice RT task only. Overall, participants produced very few AE and IR. Respectively for the simple and the choice RT tasks, percentage of AE produced was .03 and .04 in the low fit 60-69 group, .05 and .04 in the high fit 60-69 group, .09 and .05 in the low fit 70-79 group, and .09 and .07 in the high fit 70-79 group. Percentage of IR produced was .00 in the

low fit 60-69 group, .00 in the high fit 60-69 group, .00 in the low fit 70-79 group, and .01 in the high fit 70-79 group.

Table 1

Mean scores and standard deviations (in parenthesis) for participants' baseline characteristics as a function of Age groups.

	Low Fit Group (n = 55)		High Fit Group (n = 55)	
	60-69 (n = 25)	70-79 (n = 35)	60-69 (n = 30)	70-79 (n = 20)
General				
Age	65.32 (2.78)	74.47 (2.97)	64.06 (2.86)	72.65 (2.76)
School education	14.28 (4.47)	10.93 (3.22)	13.51 (3.18)	12.45 (3.68)
General mental ability				
MMSE	28.84 (1.55)	28.77 (1.07)	29.00 (1.09)	28.90 (1.12)
Verbal intelligence				
Similarities	23.20 (5.49)	19.97 (6.22)	23.40 (5.10)	22.90 (4.94)
Mood				
GDS	5.16 (6.34)	3.83 (2.97)	3.60 (4.85)	2.55 (2.65)
Fitness condition				
VO ₂ max	16.15 (3.13)	11.30 (7.57)	27.17 (4.99)	25.68 (4.31)
Walking time	19.03 (1.48)	20.09 (2.28)	16.63 (1.42)	17.01 (1.65)
MAQ	4.84 (5.12)	4.43 (4.16)	4.81 (3.57)	6.25 (4.45)

Figure captions

Figure 1: Adjusted means for initiation time (ms) in the low fit (- - -) and the high fit groups (—) as a function of PI for each duration condition.

Figure 2: Adjusted means for time (ms) for the low fit (- - -) and the high fit groups (—) as a function of Age groups.

Figure 1

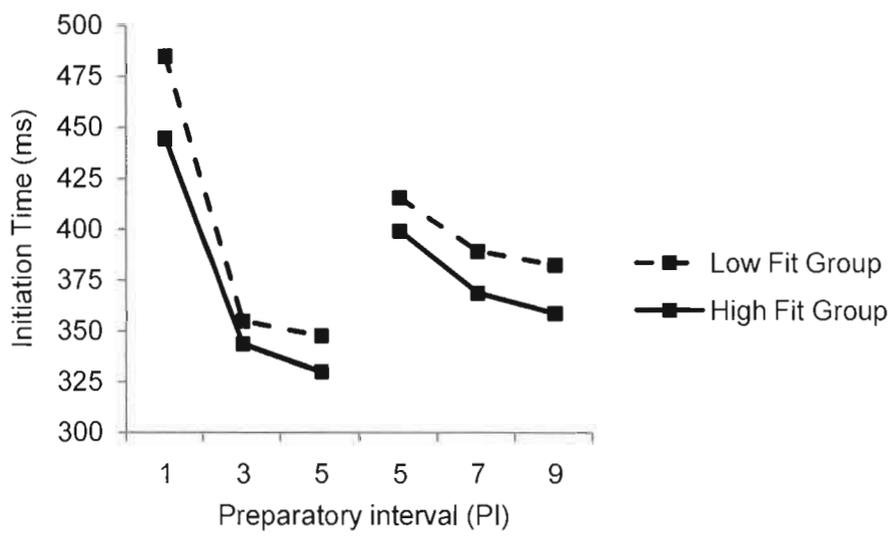
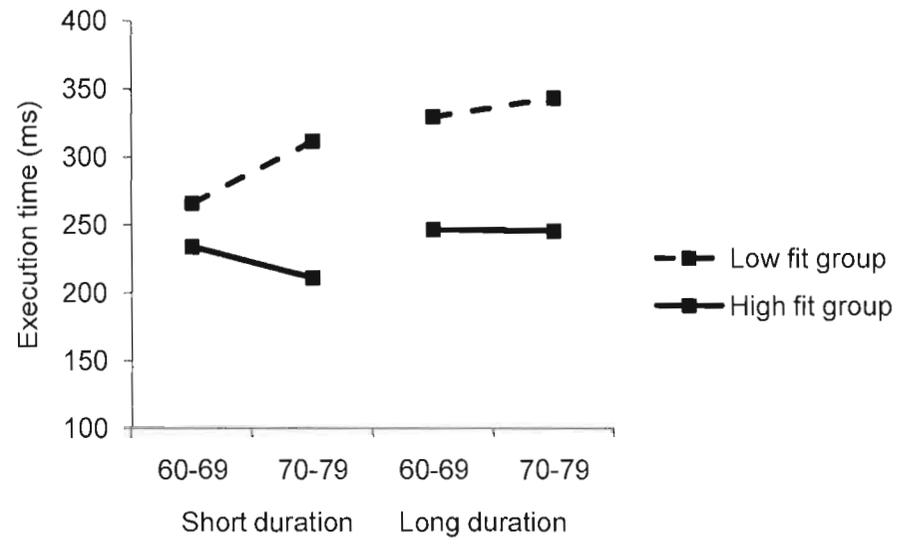


Figure 2



CHAPITRE 4 : Deuxième étude

Référence: **Renaud, M.**, Bherer, L., Maquestiaux, F., Joncas, S., & Kergoat, M.-J. (soumis) The effect of three months of aerobic training on task complexity and response preparation in normal older adults as a function of baseline fitness level.

The effect of three months of aerobic training on task complexity and response preparation in normal older adults as a function of baseline fitness level

Mélanie Renaud^{1,2}, Louis Bherer^{1,2}, François Maquestiaux³,
Steve Joncas² and Marie-Jeanne Kergoat²

¹Department of Psychology, University of Québec at Montréal

²Centre de recherche, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal

³UFR STAPS, Université Paris-Sud 11, Orsay, France

Correspondence to:
Louis Bherer, Ph.D.
Département de psychologie
Université du Québec à Montréal (UQÀM)
C.P. 8888 succursale Centre-ville
Montréal (Québec)
H3C 3P8 CANADA

Telephone: (514) 987-3000 extension 1944
Fax: (514) 987-7953
Email: bherer.louis@uqam.ca

Abstract

The effect of an aerobic training program on task complexity and response preparation was investigated in 50 elderly persons. Participants were assigned to either a three-month fitness-training group or to a control group. Subjects of the training group participated three times per week in an aerobic training program. Results indicated that 12 weeks of aerobic training induced a significant improvement in cardiorespiratory capacity (VO₂max estimate). Furthermore, participants of the training group also showed improved performance in RT tasks, with a larger benefit in the choice RT compared to the simple RT. Participants that completed the training program also showed enhanced ability to use stimulus probability to prepare for speeded response. These results are discussed in line with previous studies that showed benefits of fitness training on executive control processes in healthy older adults.

Keywords: Aging, Aerobic training, Task complexity, Response preparation

Word count for the main text = 6444

Introduction

Aging is accompanied by important changes in the central nervous system, which could at times lead to cognitive decline. Many studies suggest that executive functions and attentional control are particularly sensitive to advancing age (McDowd & Shaw, 2000). This has been associated to the substantial anatomical and physiological modifications observed in the frontal areas of the cerebral cortex during the aging process (West, 1996), such as a larger volume reduction of grey and white matter in the frontal and pre-frontal cortices (Raz, 2000). At the behavioural level, executive deficits can take the form of reduced inhibitory abilities for automatic responses strongly dictated by a context (Andres & Van der Linden, 2000; Daigneault, Braun, & Whitaker, 1992), of a difficulty to quickly move attentional focus between different tasks (McDowd & Shaw, 2000), or of reduced response preparation (Bherer & Belleville, 2004; Salthouse, 1985). However, recent studies have shown that age-related cognitive decline is heterogeneous among individuals and that several factors, such as physical activity, seem to modulate the impact of aging on cognition (Kramer, Bherer, Colcombe, Dong, & Greenough, 2004).

Cross-sectional studies have suggested that physical activity can be an important moderator of age-related cognitive decline. Among the first studies in the field, Spirduso (1975) observed that racquet and handball older players were faster in both simple and choice reaction time (RT) task compared to non-players. Clarkson-Smith and Hartley (1989) also observed that physically active elderly participants better performed than

sedentary older adults in RT tasks (for similar results in women aged over 60, see also Abourezk & Toole, 1995).

More convincing evidence for the moderating effect of physical activity on age-related cognitive decline comes from intervention studies with older adults. Dustman et al. (1984) compared older adults (aged between 50 and 70 years old) that completed a four-month training program (fast walking) to an age-matched control group that engaged in strength and flexibility exercises, and to a third control group that did not exercise. The authors reported significant increases in cardiorespiratory function in the training group only, along with improvements in a simple RT task. Similar results were obtained by Rikli and Edwards (1991) in a group of women aged from 57 to 85 years old, following three years of physical training. In the intervention studies reported above which used RT paradigms, equivalent improvement after training has been observed in both simple and choice RT tasks. However, according to Hall, Smith, and Keele (2001), if fitness training improved controlled aspect of cognition, one should rather observe a larger advantage on choice compared to simple RT tasks.

Indeed, Hawkins, Kramer, and Capaldi (1992) reported that in older adults (mean age of 68.8 years) a 10-week aqua fitness program lead to larger improvement in tasks conditions that tap dual-task and switching abilities compared to conditions that do not require executive or attentional control processes. In a seminal study by Kramer et al. (1999), two groups of sedentary elderly participants aged between 60 and 75 years old, were assigned either to an aerobic program (walking) or to a non-aerobic control

group (stretching). The authors observed that the performances of participants in the aerobic group improved on several cognitive tasks (*Answer compatibility Task, Task switching, Stop signal*), but more so, in task conditions that required executive or controlled functions. Finally, the greater benefits of fitness training on executive functions are also consistent with the results of a meta-analysis on 18 intervention studies with participants aged 60 years and older (see Colcombe & Kramer, 2003; but see Etnier, Nowell, Landers, & Sibley, 2006 for different conclusions).

The studies reported above suggest that in older adults, enhancing aerobic fitness leads to significant improvement in attentional control and executive functions. However, some studies also observed larger improvement after training in simple compared to choice RT tasks. Surprisingly, few studies have directly compared improvement in simple and choice RT tasks after aerobic fitness training. This is not a trivial question because performances in RT tasks rely on several factors that are likely related to the physical fitness condition of an older person. Motor and psychomotor speed will determine the ability to rapidly provide an answer in a RT task. Moreover, RT tasks often vary among studies in term of decision complexity and the ability to predict the moment at which a stimulus will occur. Indeed, RT tasks may also involve controlled aspects of attention before stimulus occurrence if anticipation or response preparation can take place (Niemi & Näätänen, 1981).

Preparatory processes are a voluntary or attention-demanding set of strategic behaviours that sustain the development of an optimal processing state prior to the

execution of movement (Stuss, Shallice, Alexander, & Picton, 1995). In RT tasks, a warning signal indicates to the participant to prepare for an upcoming stimulus occurring after a preparatory interval (PI). If the PI varies between trials, the probability of stimulus occurrence increases with time after the warning signal. For example, consider the use of three PIs of 1, 2, and 3 s, each occurring randomly but equally often in a block of trials. In a given trial the probability that the response signal will occur after 1 s is .33 and increases to .50 at 2 s. If no signal occurs after 2 s, the probability that it will occur at 3 s is 1. This produces a preparatory function according to which RT gets faster as PI duration increases.

In a cross-sectional study, Hillman, Weiss, Hagberg, and Hatfield (2002) reported evidence that response preparation could be moderated by aerobic fitness condition. The authors compared fit and sedentary old and young participants using a visual discrimination task. They observed a reduced amplitude of the CNV (contingent negative variation), an electrophysiological marker of response preparation, in young adults and physically fit older participants. The authors argued that older adults with better physical condition engaged less cognitive resources to prepare a speeded response. Results from Hillman et al.'s study support the notion that physical fitness is associated with more efficient preparatory processes, leading to better performance in RT tasks in older adults. However, this result has never been confirmed with an intervention study.

The aim of the present study was to investigate the effect of an aerobic fitness training program on task complexity and response preparation in older adults. Training effects were assessed using a simple and a choice RT task. Moreover, in both tasks, temporal parameters were varied to generate specific preparatory effects that have been previously shown to be age sensitive (Bherer & Belleville, 2004; Salthouse, 1985). The experimental task used in the present study provides a measure of both initiation and motor times, which allows dissociating improvement after fitness training in attentional control processes involved in task complexity and response preparation, from the mere improvement in motor speed.

A second major concern that calls for further investigation on the effect of fitness training intervention on cognition in older adults is that few studies, if any, took into account baseline levels of physical condition prior to training, which greatly differs among older individuals. Etnier et al. (2006) suggested that the relationship between fitness and cognition might differ depending upon the age and health status of participants, the method used to measure fitness condition, and the cognitive test battery. In the present study, a baseline measure of cardiorespiratory health will serve to distinguish older adults showing low and high levels of physical fitness condition prior to engagement in the study. This will allow assessing the effect of aerobic fitness training on cognition as a function of baseline level of physical condition.

Method

Participants

Fifty older adults participated in this study. They were recruited in the general population through advertising announcements and posters in community centers. All of them were right-handed. Twenty-five older adults participated in a twelve-week aerobic fitness training program for three one-hour sessions per week. Twenty-five participants were assigned to a control group. The training group was composed of 21 women and 4 men with a mean age of 67.80 years ($SD = 6.60$) and 14.36 years ($SD = 4.17$) of school education. The control group was also composed of 21 women and 4 men, with a mean age of 67.72 years ($SD = 6.01$) and 12.92 years ($SD = 2.61$) of formal education. Participants in both groups were comparable for age and education level. Prior to acceptance in the study, all the participants completed a telephone interview evaluating their physical health. On a five-point health-rating scale (5 = excellent), training and control participants rated 4.21 ($SD = .74$) and 4.17 ($SD = .72$) respectively. None of the participants reported a history of neurological disease or major surgery in the year preceding the study. To exclude persons with dementia or depression, participants completed the Mini-Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975, cut-off score for inclusion in the study of 26/30), and the Geriatric Depression Scale (Yesavage et al., 1983, cut-off score of 11). Participants also completed the modified Questionnaire of aptitude to physical activity (QAA-P), a screening instrument used to detect persons presenting risks of engaging in intense physical activity, and the Modifiable Activity Questionnaire (MAQ, Vuillemin et al., 2000) to evaluate their level of physical activity over the twelve past months. All participants were screened for

auditory and visual impairment based on a self-reported questionnaire, as well as for cardiovascular disease or vascular peripheral attacks, and moderate to severe hypertension, which were also based on self-report. General verbal and mental abilities were also assessed (Similarities sub-test of the WAIS-III, Wechsler, 1997). Table 1 presents the characteristics of the participants who completed the study.

Aerobic Fitness Program

Participants of the training group engaged in a three-month physical exercise program with three one-hour training sessions per week. During each training session, participants performed diversified physical activities combining stretching and cardiorespiratory exercises. Training sessions were conducted by professional instructors in physical activities and sport sciences. Basic principles and guidelines for exercise programming (Nelson et al., 2007) were followed, including adequate warm up and cool down periods, progressive and gradual increments in exercise duration and energy expenditure, and instruction regarding avoidance of exercise related injury. The duration of cardiorespiratory exercises (fast walking, dancing, etc.) was also gradually increased during the session, beginning at 15 minutes per session and increasing until participants were exercising for 40 minutes per session.

Procedure

Prior to engagement in the training program, all participants completed two pre-test sessions within a one-week delay. In the first pre-test session they completed a two-

hour period of neuropsychological testing⁴ and filled out questionnaires. In the second pre-test session, they completed the computerized cognitive task and a test of cardiorespiratory fitness (Rockport one-mile test; Kline et al., 1987). Half of the participants engaged in the training program. After this period, participants completed two post-tests sessions that included the neuropsychological tests, the computerized task, and the walking test. The study, which included pre and post-testing sessions as well as 36 training sessions in-between, was completed within a 14-week period. Participants in the control group completed the cognitive and the physical fitness tests before and after a 12-week period, but did not receive any intervention. All participants signed a consent form before engagement in the study.

Pre and Post-test Measures

Cardiorespiratory fitness assessment. The Rockport one-mile test (Kline et al., 1987) was used to assess cardiorespiratory fitness. This sub-maximum cardiovascular stress test provides an accurate estimate of the maximum level of oxygen consumption ($VO_2\text{max}$). In fact, Kline et al. (1987) have reported a correlation coefficient of .88 between $VO_2\text{max}$ estimated based on performances during the Rockport one-mile test and a direct measure of $VO_2\text{max}$ during an increment test on a treadmill. Participants were required to walk one mile without stopping, as fast as possible. They were equipped with a Polar S120 Heart rate Monitor (Polar Electro, Lake Success, NY, USA). Time required to complete the distance was manually recorded on a stopwatch.

⁴ Results on the neuropsychological tests will be described in details elsewhere.

Heart rate frequency was recorded one minute after the end of the walking test. $VO_2\text{max}$ was estimated based on Equation 2 provided by Kline et al. (1984)⁵ that takes into account participants' weight, age, sex, cardiac frequency post-exercise, and time taken to cover the one-mile distance.

Simple and choice RT tasks. Response preparation was assessed with a RT paradigm that has shown age-related differences in response preparation (Bherer & Belleville, 2004). Participants completed a simple and a choice RT task in which they started each trial by pressing a central button on a response box with the index finger. They had to keep the home key pressed down until the response signal occurred. An auditory signal occurring at the beginning of the trial served as a preparatory signal. The response signal was a black circle appearing in the center of the screen (simple RT) or either on the right or the left side of a white circle located in the center of the screen (choice RT). In the simple RT task, the participant had to press the response key located on the right side of the home key with the index finger. In the choice RT task, the response button corresponded to the position of the black circle (left or right). In both, the choice and the simple RT tasks, temporal preparation was assessed using preparatory intervals (PI) embedded in a short (PI of 1, 3, 5 s) and a long (PI of 5, 7, 9 s) temporal

⁵ Kline et al. (1987) provided two Equations to estimate $VO_2\text{max}$ based on the performances obtained at the Rockport one-mile test. Equation 1 provides $VO_2\text{max}$ estimate expressed in $l.\text{min}^{-1}$ and Equation 2 a $VO_2\text{max}$ estimate expressed in $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Equation 2 provides a more precise estimation and was used in the present study. Kline et al. (1984) reported a correlation coefficient of .88 between $VO_2\text{max}$ estimation based on Equation 2 and a direct $VO_2\text{max}$ assessment during an increment test. The formulae provided by Kline et al. (1984) take into account participants' weight (WT), age, sex, the time to complete 1 mile, and heart rate at the end of the one-mile walking test (HR). Equation 2: $VO_2\text{max} = 132.853 - (.0769 \times \text{WT}) - (.3877 \times \text{AGE}) + (6.3150 \times \text{SEX}) - (3.2649 \times \text{TIME}) - (.1565 \times \text{HR})$, $r = .88$, $\text{SEE} = 5.0 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

window. In each window, the three PIs varied randomly and unexpectedly between trials. The presentation order of the long and short duration conditions was counterbalanced across participants. Participants were asked to respond as quickly and accurately as possible to each trial. Dependent variables were initiation time (IT), which corresponds to the latency elapsed between the response signal and the release of the home key, and execution time (ET), measured by the time to move from the home key to the response key. Error rates were also recorded.

Results

To assess the effect of baseline fitness level on training outcomes, all participants were categorized as high or low fit based on a median split using the VO_2max estimated score at baseline. The overall group median at baseline ($18.95 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) was used in order to ensure that the median was not affected by the assignment procedure. Twenty-five participants were part of the low fit group with a mean VO_2max estimate of $12.94 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($SD = 6.18$). The high fit group was also composed of 25 participants with a mean VO_2max estimate of $25.67 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($SD = 6.54$). In the training group 11 participants were qualified as low fit, with a mean VO_2max estimate of $10.20 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($SD = 7.82$) and 14 participants as high fit, with a mean VO_2max estimate of $25.23 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($SD = 7.72$). In the control group, 14 participants were qualified as low fit and 11 participants as high fit, with a mean VO_2max estimate of $15.10 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($SD = 3.48$) and $26.23 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($SD = 4.94$) respectively.

Participant's Baseline Characteristics

Participant's baseline characteristics as a function of baseline fitness level are presented in Table 1. ANOVAs were performed on each dependent variable with Group (training and control) and Baseline fitness level (low and high) as between subject factors. Results showed no significant difference or interaction between groups and baseline fitness levels on school education, $F(1, 46) < 1$, MMSE, $F(1, 46) < 1$, general verbal ability, $F(1, 46) < 1$, (score at the Similarities sub-test of the WAIS III), and score at the GDS, $F(1, 46) < 1$. Training and control groups were comparable for Age, $F(1, 46) < 1$. However, a significant age difference was observed between the two groups that differed on their baseline fitness level, $F(1, 46) = 22.62, p < .001, \eta^2 = .33$. Individuals in the high fit group being significantly younger ($M = 64.28$ years) than individuals in the low fit group ($M = 71.24$ years). Importantly, the age difference according to fitness level was independent of the experimental group factor as indicated by the absence of a three-way interaction of Group x Baseline fitness level x Age, $F(1, 46) = 1.62, n.s$. Nevertheless, given the significant age difference between the baseline fitness groups, the results of this study are reported significant if they remained significant after controlling for age (using age as a covariable in an ANCOVA). Finally, scores on the MAQ indicated that participants were also equivalent on the amount of physical activity performed over the last twelve months $F(1, 46) = 1.86, n.s$.

Only the GDS was re-administered at post-test to verify if the training program may have had an effect on the participant's mood condition. There was no significant change or interaction effect based on the score at the GDS, $F(1, 46) < 1$.

Cardiorespiratory Fitness Assessment

Figure 1 shows results observed at the cardiorespiratory fitness test before and after the three-month training program. Results obtained with the VO_2 max estimation (see Figure 1 Panel A) showed a main effect of Baseline fitness level, $F(1, 46) = 30.92$, $p < .001$, $\eta^2 = .40$, and a significant Baseline fitness level x Time interaction, $F(1, 46) = 5.32$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$. Follow-up analyses showed that VO_2 max estimate improved to a greater extent in the low fit group, $F(1, 24) = 14.36$, $p < .001$, $\eta^2 = .37$, compared to the high fit group, $F(1, 24) = 5.71$, $p < .05$, $\eta^2 = .19$. Of major interest for the present study, a significant Group x Time interaction was also found, $F(1, 46) = 25.43$, $p < .001$, $\eta^2 = .36$. Participants in the training group showed significant improvement in VO_2 max estimate after three months of physical fitness training, $F(1, 24) = 43.29$, $p < .001$, $\eta^2 = .64$, while the VO_2 max of control participants remained unchanged, $F(1, 24) < 1$. The analysis on the walking time also revealed a main effect of Baseline fitness level, $F(1, 46) = 23.06$, $p < .001$, $\eta^2 = .33$, as well as a significant Group x Time interaction, $F(1, 46) = 32.79$, $p < .001$, $\eta^2 = .42$ (see Figure 1 Panel B). Participants of the training group walked the mile faster after the 12-week training program, $F(1, 24) = 49.28$, $p < .001$, $\eta^2 = .67$, whereas walking time of participants in the control group did not improve,

$F(1, 24) < 1$. It is important to emphasize that the training effect on the cardiorespiratory fitness assessment was equivalent in both the low and the high fit groups as indicated by the absence of a three-way interaction on VO_2 max estimate, $F(1, 46) = 1.25$, *n.s.*, and walking time, $F(1, 46) < 1$.

Simple and Choice RT Tasks

The two variables of interest in the RT tasks were initiation time (IT) and execution time (ET). IT corresponds to the latency elapsed between the moment where the response signal (the black circle) appears on the screen and the moment at which the participant releases the home key. ET was measured from the moment the participant raises the index from the home key and presses the response key. RTs were included in the analyses for correct answers only and trials were excluded from the analyses if IT was shorter than 100 ms or global RT was longer than 3000 ms.

Training effects on task complexity. Data were analysed using an ANOVA with Group (training and control) and Baseline fitness level (low fit and high fit) as between subject factors, and Time (before and after 12 weeks) and Task (simple and choice) as within subject factor.

The analysis on IT revealed main effects of Baseline fitness level, $F(1, 46) = 5.02$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$, Time, $F(1, 46) = 5.45$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$, and Task, $F(1, 46) = 159.54$, $p < .001$, $\eta^2 = .78$. The Baseline fitness level \times Time interaction was significant, $F(1, 46) = 8.78$, $p < .01$, $\eta^2 = .16$, due to a larger improvement overall in the low fit group, $F(1, 24) = 9.75$, $p < .01$, $\eta^2 = .29$, compared to the high fit group, $F(1, 24) < 1$.

More importantly to our concern, the Group x Time interaction was significant, $F(1, 46) = 10.37, p < .01, \eta^2 = .18$, and qualified by a Group x Time x Task interaction (depicted in Figure 2), $F(1, 24) = 7.91, p < .01, \eta^2 = .15$. The analysis performed for the simple and choice RT task separately revealed a significant Group x Time interaction in the choice RT task, $F(1, 48) = 12.10, p < .001, \eta^2 = .20$, but not in the simple RT task, $F(1, 48) = 1.87, n.s.$ In the choice RT task, IT significantly improved from pre-test to post-test in the training group, $F(1, 24) = 13.11, p < .001, \eta^2 = .36$, but remained unchanged in the control group, $F(1, 24) = 1.30, n.s.$

The analysis on ET revealed a significant main effect of Task, $F(1, 46) = 80.63, p < .001, \eta^2 = .64$, and a Group x Baseline fitness level x Task interaction, $F(1, 46) = 4.31, p < .05, \eta^2 = .09$. This interaction was due to a significant Baseline fitness level x Task interaction in the training group, $F(1, 23) = 5.00, p < .05, \eta^2 = .18$, with a larger task effect in the low fit group, $F(1, 10) = 18.96, p < .001, \eta^2 = .66$, than in the high fit group, $F(1, 13) = 18.23, p < .001, \eta^2 = .58$. Respectively for the simple and the choice RT tasks, ET was 220 ms and 308 ms in the low fit group and 202 ms and 244 ms in the high fit group. In the control group, the task effect, $F(1, 23) = 47.01, p < .001, \eta^2 = .67$, did not differ amount baseline fitness groups (simple; 256 ms, choice, 305 ms)

Training effects on response preparation. Given the training effect on task complexity reported above and that the PI effect (decrease in IT with increasing PI length) tend to be larger in short time windows than in long time windows (Niemi and

Näätänen, 1981), training effects on response preparation were assessed independently in each duration condition (short and long) and separately for each RT tasks. The ANOVA involved Group (control and training) and Baseline Fitness level (low and high) as between subject factors, and Time (before and after 12 weeks) and PI as within subject factors. Again, results are reported significant only if they were also significant in the ANCOVA with age as a covariate.

Short temporal window. Results observed on IT in the simple RT task are presented in Figure 3. The analysis indicated a significant PI effect, $F(1.2, 54.9) = 189.77, p < .05, \eta^2 = .81$, and a trend for a Group x Baseline fitness level x PI interaction, $F(1.2, 54.9) = 3.62, p = .055, \eta^2 = .07$ ($p < .05$ in the ANCOVA). This interaction was due to a significant Baseline fitness level x PI interaction in the training group only, $F(1.2, 27.8) = 5.03, p = .055, \eta^2 = .07$, in which the decrease in IT from the 1st to the 2nd PI (PI effect) tended to be larger in the low fit, $F(1, 10) = 36.43, p = .001, \eta^2 = .79$, compared to the high fit group, $F(1, 13) = 88.93, p = .001, \eta^2 = .87$. ET in this condition indicated a significant Group x PI interaction, $F(2.0, 92.0) = 3.79, p < .05, \eta^2 = .08$, due to a significant PI effect in the control group only, $F(2.0, 48.0) = 8.41, p = .001, \eta^2 = .26$, (training; $F(1.8, 43.4) = 1.08, n.s.$). Importantly, there was no significant main effect or interaction with time in the short temporal window of the simple RT task.

In the choice RT task, the analysis on IT indicated a significant main effect of PI, $F(1.6, 71.74) = 182.76, p < .001, \eta^2 = .80$, and Group x Time, $F(1, 46) = 15.14, p <$

.001, $\eta^2 = .25$, and Baseline fitness level x Time interactions, $F(1, 46) = 11.04, p < .01$, $\eta^2 = .19$. These interactions were qualified by a Group x Baseline fitness level x Time x PI interaction (depicted in Figure 4), $F(1.8, 84.6) = 4.89, p < .05, \eta^2 = .10$. Follow-up analyses were performed to assess the Group x Time interaction at each PI separately in the low and the high fit group. A Group x Time interaction was observed at the 1st PI in the high fit group, $F(1, 23) = 12.10, p < .01, \eta^2 = .35$, but not in the low fit group, $F(1, 23) < 1$. The Group x Time interaction in the high fit group was due to a longer IT at post-test than at pre-test in the control group, $F(1, 10) = 12.94, p = .01, \eta^2 = .56$. In the 2nd PI and 3rd PI, a Group x Time interaction was observed in both fitness groups (2nd PI; low fit; $F(1, 23) = 7.24, p < .05, \eta^2 = .24$, high fit; $F(1, 23) = 5.94, p < .01, \eta^2 = .21$, 3rd PI; low fit: $F(1, 23) = 7.44, p < .05, \eta^2 = .24$, high fit: $F(1, 23) = 5.32, p < .05, \eta^2 = .19$). In the low fit group, the interaction was due to a significant improvement from pre-test to post-test in the training group at both PIs, (2nd PI; $F(1, 10) = 6.75, p < .05, \eta^2 = .40$, 3rd PI; $F(1, 10) = 8.36, p < .05, \eta^2 = .46$) which was not observed in the control group, (2nd PI; $F(1, 13) < 1$, 3rd PI; $F(1, 13) < 1$). In the high fit group, the Group x Time interaction observed at the 2nd PI and the 3rd PI was due to a longer IT at post-test compared to pre-test in the control group, which was significant at the 2nd PI, $F(1, 10) = 5.97, p < .01, \eta^2 = .37$, and marginally significant at the 3rd PI; $F(1, 10) = 4.43, p = .06, \eta^2 = .31$. IT did not change from pre-test to post-test in the training group (2nd PI; training; $F(1, 13) < 1$, 3rd PI; $F(1, 13) = 1.51, n.s.$). The analysis performed on ET did

not show any main effect or interactions in the short temporal window of the choice RT task.

Long temporal window. In the simple RT task, the analysis on IT revealed a significant three-way interaction of Group x Baseline fitness level x PI, $F(1.7, 78.8) = 3.34, p < .05, \eta^2 = .07$. The Group x PI effect was significant in the high fit group only, $F(1.7, 38.9) = 3.99, p < .05, \eta^2 = .15$, (low fit; $F(1.8, 41.1) < 1$), which was due to a larger PI effect in the control group, $F(1.3, 11.1) = 17.86, p < .001, \eta^2 = .64$, compared to the training group, $F(2.0, 26.0) = 7.60, p < .051, \eta^2 = .37$. The analysis on ET revealed an unexpected interaction involving Baseline fitness level x Time x PI, $F(2.0, 92.0) = 4.208, p < .05, \eta^2 = .08$. Further analysis performed for the low and the high fit group separately at each PI revealed a significant improvement in the low fit group on the 2nd PI (7 s), $F(1, 24) = 4.66, p < .05, \eta^2 = .16$ only. More importantly, analysis on ET also showed a significant Group x Time interaction (depicted in Figure 5), $F(1, 46) = 4.10, p < .05, \eta^2 = .08$, which was due to a significant improvement from pre-test to post-test in the training group, $F(1, 24) = 4.18, p < .05, \eta^2 = .15$, but not in the control group, $F(1, 24) < 1$.

In the choice RT task the analysis on IT revealed a main effect of PI, $F(1.9, 87.1) = 39.92, p < .001, \eta^2 = .47$, and a significant Group x Time interaction, $F(1, 46) = 8.78, p < .05, \eta^2 = .16$, which was due to a significant improvement from pre-test to pos-test in the training group, $F(1, 24) = 11.11, p < .01, \eta^2 = .32$, which was not observed in the

control group, $F(1, 24) < 1$. The analysis on ET did not reveal any main effect or interaction effect.

Training effects on errors rates. Two types of errors can be produced in the RT tasks. Incorrect responses could be produced in the choice RT task and anticipation can occur in both simple and choice RT tasks. The analyses revealed no effect of training or change from pre-test to post-test on errors rate and anticipation errors. In the choice RT task, participants produced virtually no incorrect responses. In fact, only two participants of the control group made one error at post-test. In general, participants made very few anticipation errors (leaving the home key before the response stimulus actually occurred). In the simple RT task, the mean number of anticipation errors at pre-test was .05 for the training group (low fit: .06; high fit: .04) and .04 for the control group (low fit: .05; high fit: .02). At post-test, the mean number of anticipation errors was .04 for the training group (low fit: .06; high fit: .02) and .09 for the control group (low fit: .03; high fit: .17). Anticipation score in the choice RT task was .03 for the training group (low fit: .04; high fit: .05) and .03 for the control group (low fit: .04; high fit: .02) at pre-test, and at post-test, .02 for the training group (low fit: .02; high fit: .02) and .07 for the control group (low fit: .03; high fit: .11). Anticipation errors were submitted to nonparametric tests (Kruskal Wallis), which revealed that experimental groups produced a comparable number of anticipation errors and obtained similar anticipation scores in the simple RT task at pre-test, $\chi^2(3, N = 50) = 6.36, n.s.$, and post-test, $\chi^2(3, N = 50) = 7.46, n.s.$ Anticipation errors produced in the choice RT task were

also equivalent among experimental groups at pre-test, $\chi^2(3, N = 50) = 3.65, n.s.$, and post-test, $\chi^2(3, N = 50) = 1.40, n.s.$

Discussion

The present study examined the effect of a three-month aerobic fitness training program on task complexity and response preparation in older adults, as a function of baseline fitness level, using simple and choice RT tasks designed to generate response preparation effects that have been associated to the integrity of the prefrontal cortex (see Vallesi, Shallice & Walsh, 2007).

Our results support the notion that physically unfit elderly persons can benefit from a structured aerobic exercise program after only three months. The cardiorespiratory fitness level assessed with the Rockport one-mile (Kline et al., 1987) walking test indicated that three months of physical exercise lead to a 25 % increase in physical fitness level. This suggests that even between 60 and 80 years of age, engaging in a physical fitness training program engenders strong benefits on cardiorespiratory function. The improvement observed after three months is comparable to improvements reported in other studies (Dustman et al., 1984).

One major goal of the present study was to assess the effect of aerobic fitness training in RT tasks while taking into account task complexity (simple vs. choice RT tasks). Some studies suggested that physical fitness should be associated to better performances in more complex tasks, because those tasks require controlled and effortful cognitive processing (Hall et al., 2001). The results reported in this study are

consistent with this view. After the three-month training program, improvement in initiation time was more important in the choice than in the simple RT task, thus suggesting that a speeded task that engages more cognitive processes would show greater improvement after training.

Another important question addressed in the present study was the effect of physical fitness condition on response preparation processes, which refers to the ability to prepare for an upcoming response. Salthouse (1985) proposed two forms of inefficient preparation in normal aging: an incapacity to develop an optimal prepared state rapidly and an inability to maintain preparation over a certain period of time. Other studies have showed that response preparation deficits could also be observed in older adults due to an inability to prepare for unlikely events (Bherer & Belleville, 2004). The RT tasks used in the present study were designed to assess these three types of preparation deficits. In this task, a warning signal indicated to the participant to prepare for a speeded response to an upcoming stimulus, occurring after three preparatory intervals (PIs) of different durations. Within each temporal window, PIs varied randomly and could vary from 1, 3, or 5 s in the short duration window or from 5, 7, or 9 s in the long duration window. With such a variable PI paradigm, preparation depends upon the probability of stimulus occurrence, which increases with time after the warning signal has been presented. This produces a preparatory function according to which RT gets faster as PI duration increases within a given temporal window (Niemi & Näätänen, 1981).

In the task used in the present study, changes in the ability to prepare for a short delay would only affect the shortest PI (1 s), while improvement in the ability to sustain preparation for longer delay would lead to larger improvement in the long PIs (e.g., 9 s). An enhanced ability to use stimulus probability should lead to improved performance in both temporal windows with greater improvement in the longest PIs within each temporal window. The results observed in the present study suggest that physical fitness training can lead to significant improvement in response preparation in many ways but that this improvement depends on the baseline fitness level of the participants. After controlling for age, low-fit individuals that completed the training showed better response preparation at the 2nd and the 3rd PI of the short time window in the choice RT task. This was not observed in the high fit group after training and in the two control groups. Moreover, high and low fit individuals showed better performance in the long time window in the choice RT task, suggesting that they better maintained a high level of preparation over time after the training program. To our knowledge, the present study is the first to show that response preparation can be enhanced in older adults after an aerobic fitness intervention. These results bring further support to Hillman et al.'s (2002) findings that high fit older and younger adults tend to show more efficient and less effortful response preparation than low fit individual in speeded RT tasks. Results from the present study suggest that this effect can also be observed after only three months of aerobic fitness exercises.

This study allowed isolating conditions in which the effect of a fitness training intervention could vary according to the individual's baseline levels of physical condition. The larger effect of training in choice compared to simple RT task (task complexity effect) did not vary according to the baseline fitness level. However, baseline fitness level did modulate the effect of the physical fitness program on response preparation. In the short time window of the choice RT task, improvement in response preparation was significant only in low fit individuals, but equivalent among fitness groups in the long time window. It thus seems that the cognitive benefits of a three-month physical fitness training program depend upon individuals' initial physical fitness condition. The practical implication of these findings could be to adjust physical fitness training programs according to the initial amount of fitness in the individual. Whether more vigorous programs for participants identified as high fit may produce larger effects on cognitive functioning, remain to be explored.

This study provides further support to the notion that cardiorespiratory fitness may offer a protective buffer against age-related cognitive decline. Although the effect of physical fitness on brain structures and functions remains to be elucidated, evidence from neuroimaging studies brings additional support to the benefit of fitness training on cognition in old age, and could help to explain why executive control functions are the ones that greatly benefit from fitness training. Recent findings using a voxel-based morphometric (VBM) approach, which entails a detailed image segmentation of high-resolution brain scans, showed that a better cardiorespiratory fitness level ($VO_2\text{max}$)

was associated with a reduced loss in grey and white matter in the frontal, prefrontal, and temporal regions in older adults (Colcombe, Erickson, Raz, et al., 2003). Moreover, it has been shown that enhanced cardiovascular functions after aerobic training is associated with greater task-relevant activity in brain areas recruited in an attentional control task (Colcombe et al., 2006; Colcombe, Kramer, Erickson et al., 2004; Colcombe, Kramer, McAuley, Erickson, & Scalf, 2004). Thus, cardiorespiratory fitness has significant effects on the cortical regions that are strongly associated with the integrity of attentional control processes as those required in speeded response preparation tasks (Stuss et al., 1995).

Executive control functions are vital to the human autonomy and physical activity could be used as an intervention tool to attenuate cognitive decline. Moreover, exercise is relatively inexpensive, accessible, and easy to begin at any age. However, an important issue that remains to be addressed is whether the benefits of physical fitness training extend to improved activities of daily living in older adults. Many tasks that we perform during the day, such as driving, entail substantial executive controls demands. Indeed, the response preparation task using variable PIs design appears to reflect real-life demands as we often have to anticipate and prepare fast and accurate responses (e.g., at an intersection the yellow light warns the driver that a stop will soon be required). Further studies are required to assess the extent to which aerobic fitness training effects on cognition are significant in everyday situations.

References

- Abourezk, T., & Toole, T. (1995). Effect of task complexity on the relationship between physical fitness and reaction time in older women. *Journal of Aging and Physical Activity, 3*, 251-260.
- Andres, P., & Van der Linden, M. (2000). Age-related differences in supervisory attentional system functions. *Journal of Gerontology B Psychological Sciences and Social Sciences, 55*(6), P373-380.
- Bherer, L., & Belleville, S. (2004). Age-related differences in response preparation: the role of time uncertainty. *Journal of Gerontology B Psychological Sciences and Social Sciences, 59*(2), P66-74.
- Clarkson-Smith, L., & Hartley, A. A. (1989). Relationships between physical exercise and cognitive abilities in older adults. *Psychology & Aging, 4*(2), 183-189.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., et al. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *Journal of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences, 58*(2), 176-180.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scalf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E., et al. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *Journal of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences, 61*(11), 1166-1170.
- Colcombe, S. J., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Sciences, 14*(2), 125-130.

- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., et al. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *101*(9), 3316-3321.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., McAuley, E., Erickson, K. I., & Scalf, P. (2004). Neurocognitive aging and cardiovascular fitness: recent findings and future directions. *Journal of Molecular Neuroscience*, *24*(1), 9-14.
- Daigneault, S., Braun, C. M. J., & Whitaker, H. A. (1992). Early effects of normal aging on perseverative and non-perseverative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychology*, *8*, 99-114.
- Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, H. W., Shigeoka, J. W., et al. (1984). Aerobic exercise training and improved neuropsychological function of older individuals. *Neurobiology of Aging*, *5*(1), 35-42.
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Review*, *52*(1), 119-130.
- 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.

- Hall, C. D., Smith, A. L., & Keele, S. W. (2001). The impact of aerobic on cognitive function in older adults: A new synthesis based on the concept of executive control. *European Journal of Cognitive Psychology, 13*, 279-300.
- Hawkins, H. L., Kramer, A. F., & Capaldi, D. (1992). Aging, exercise, and attention. *Psychology & Aging, 7*(4), 643-653.
- Hillman, C. H., Weiss, E. P., Hagberg, J. M., & Hatfield, B. D. (2002). The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. *Psychophysiology, 39*(3), 303-312.
- Kline, G. M., Porcari, J. P., Hintermeister, R., Freedson, P. S., Ward, A., McCarron, R. F., et al. (1987). Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Med Sci Sports Exerc, 19*(3), 253-259.
- Kramer, A. F., Bherer, L., Colcombe, S. J., Dong, W., & Greenough, W. T. (2004). Environmental influences on cognitive and brain plasticity during aging. *Journal of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences, 59*(9), M940-957.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., et al. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature, 400*(6743), 418-419.
- McDowd, J. M., & Shaw, R. J. (2000). Attention and aging: A functional perspective. In F. I. M. Craik, & Salthouse, T. A. (Ed.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 221-292). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., et al. (2007). Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation, 116*(9), 1094-1105.
- Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). Foreperiod and Simple Reaction Time. *Psychological Bulletin, 89*(1), 133-162.
- Raz, N. (2000). Aging of the Brain and Its Impact on Cognitive Performance: Integration of Structural and Functional Findings. In F. I. M. Craik, & Salthouse, T.A. (Ed.), *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 1-90). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rikli, R. E., & Edwards, D. J. (1991). Effects of a three-year exercise program on motor function and cognitive processing speed in older women. *Research Quarterly in Exercise and Sport, 62*(1), 61-67.
- Salthouse, T. A. (1985). Speed of behavior and its implications for cognition. In J. E. Birren, & Schaie, K.W. (Ed.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 400-426). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Spiriduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *The Journal of Gerontology, 30*(4), 435-440.
- Stuss, D. T., Shallice, T., Alexander, M. P., & Picton, T. W. (1995). A Multidisciplinary Approach to Anterior Attentional Functions. In J. Grafman, Holyoak, K. J., & Boller F. (Ed.), (pp. 191-211).

- Vallesi, A., Shallice, T., & Walsh, V. (2007). Role of the prefrontal cortex in the foreperiod effect: TMS evidence for dual mechanisms in temporal preparation. *Cerebral Cortex, 17*(2), 466-474.
- Vuillemin, A., Oppert, J. M., Guillemin, F., Essermeant, L., Fontvieille, A. M., Galan, P., et al. (2000). Self-administered questionnaire compared with interview to assess past-year physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercises, 32*(6), 1119-1124.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin, 120*(2), 272-292.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition : Administration and scoring manual*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Yesavage, J. A., Brink, T. L., Rose, T. L., Lum, O., Huang, V., Adey, M., et al. (1983). Development and validation of a geriatric depression screening scale: A preliminary report. *Journal of Psychiatric Research, 17*, 37-49.

Authors' notes

This research was supported by a grant from the Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CAREC program) and a scientist fellowship from the Fonds de Recherche en Santé du Québec to L.B. The authors wish to thank Guillaume Boussardon, Thierno Diallo, Laëtitia Haller, Delphine Middermacht, Martine Vézina and Julie Brunet for their collaboration in the study.

Table 1

Participant's baseline characteristics as a function of baseline fitness level

	Control Group		Training Group	
	Low Fit	High Fit	Low Fit	High Fit
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
General				
Age	70.00 (6.09)	64.82 (4.69)	72.82 (5.56)	63.86 (4.31)
Education	12.36 (2.31)	13.64 (2.91)	14.09 (5.28)	14.57 (3.25)
General mental ability				
MMSE	29.43 (1.02)	28.82 (1.25)	28.64 (1.12)	28.64 (1.08)
Verbal intelligence				
Similarities	23.50 (3.98)	22.45 (5.03)	22.36 (5.99)	23.21 (4.17)
Mood condition				
GDS	5.29 (3.41)	5.55 (5.36)	3.64 (1.43)	5.33 (3.41)
Fitness assessment				
MAQ	3.04 (1.97)	3.72 (3.34)	5.57 (5.68)	3.46 (2.96)

Figure captions

Figure 1: Mean VO_2max estimate (A) and time to walk the one-mile distance (B) in the Rockport one-mile test in the control and the training groups at pre-test and post-test sessions.

Figure 2: Mean initiation time (ms) in the simple and the choice RT tasks in the training and the control groups.

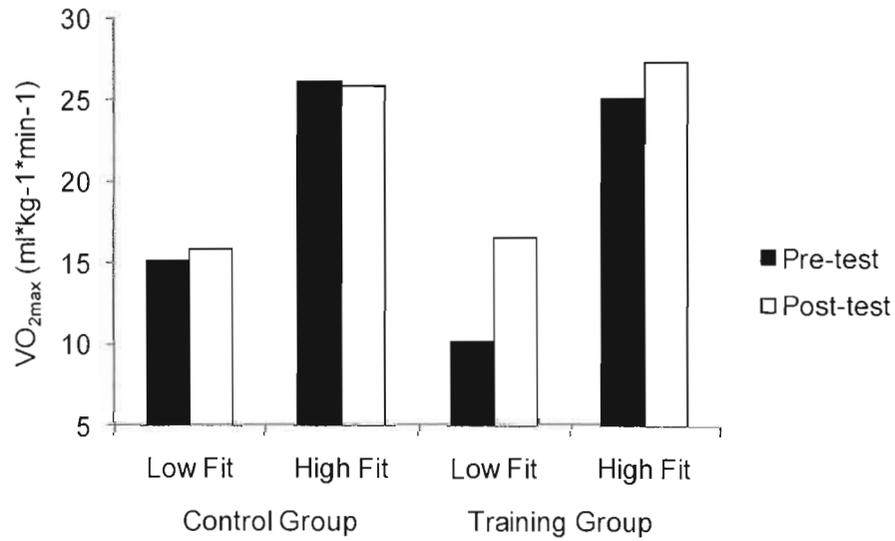
Figure 3: Mean initiation time (ms) in the simple RT tasks as a function of preparatory intervals and baseline fitness level in the training and the control groups at pre-test (solid line) and post-test (dashed line).

Figure 4: Mean initiation time (ms) in the choice RT task in the low fit (A) and the high fit groups (B), as a function of preparatory intervals at pre-test (solid line) and post-test (dashed line).

Figure 5: Mean execution time (ms) in the short and the long duration conditions in the control and the training groups at pre-test and post-test sessions.

Figure 1

(A) Mean $\text{VO}_{2\text{max}}$ in the control and the training groups at pre-test and post-test sessions



(B) Walking time in the Rockport one-mile test in the control and the training groups at pre-test and post-test sessions.

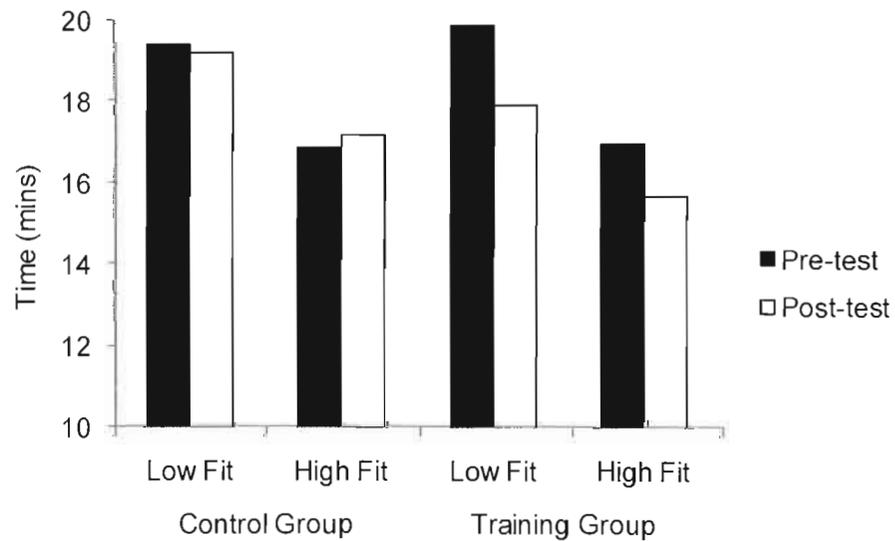


Figure 2

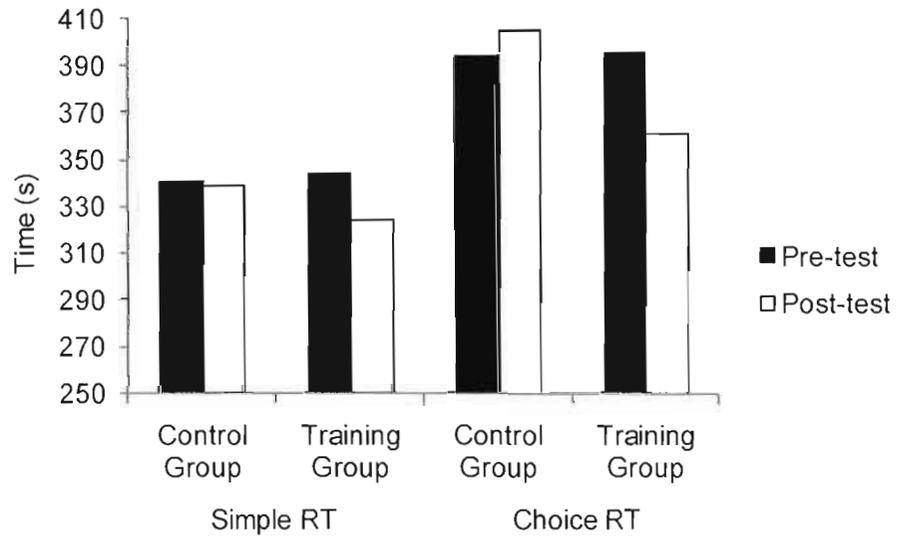


Figure 3

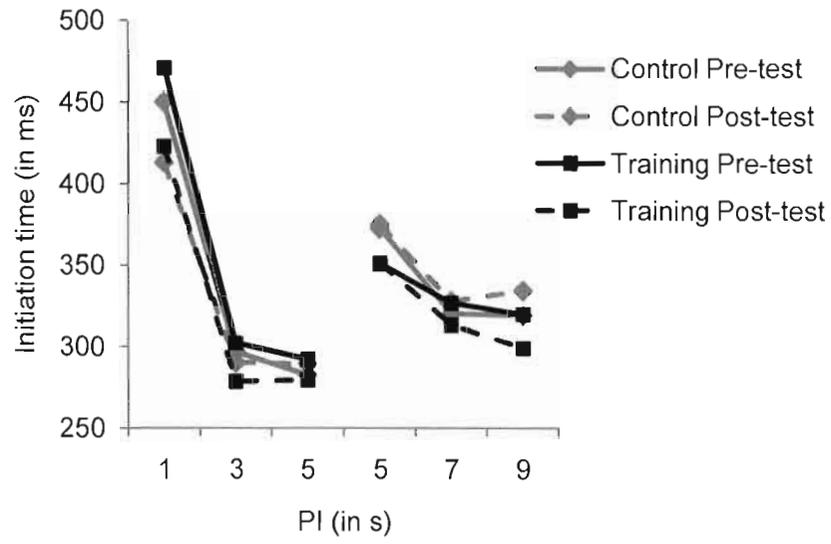
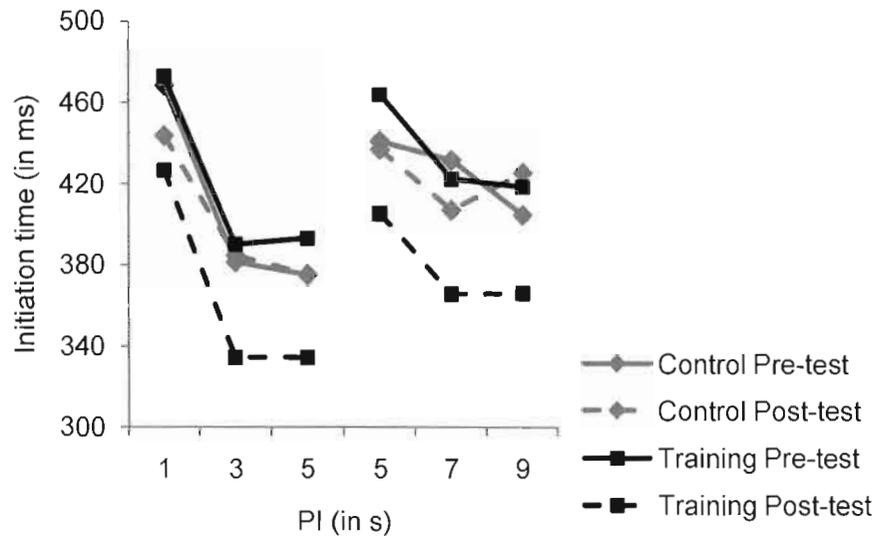


Figure 4

(A) Mean initiation time of the low fit group in the choice RT task



(B) Mean initiation time of the high fit group in the choice RT task

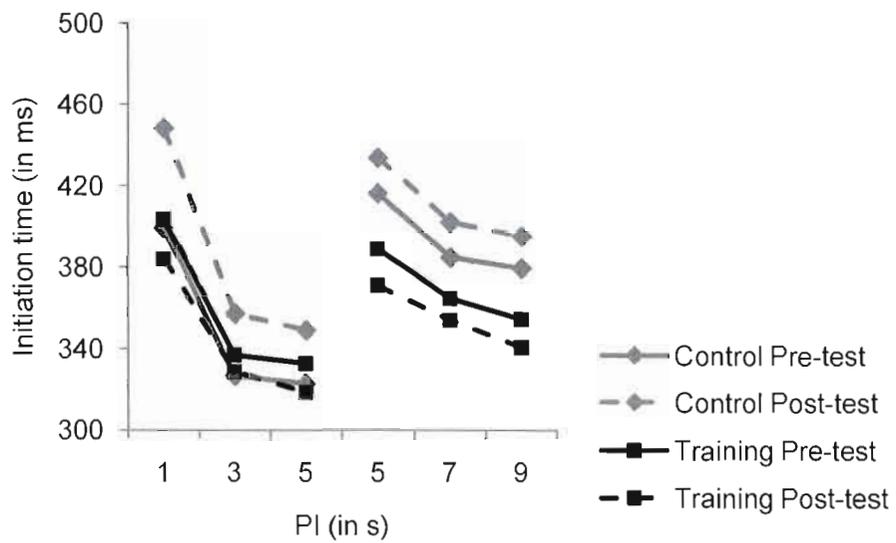
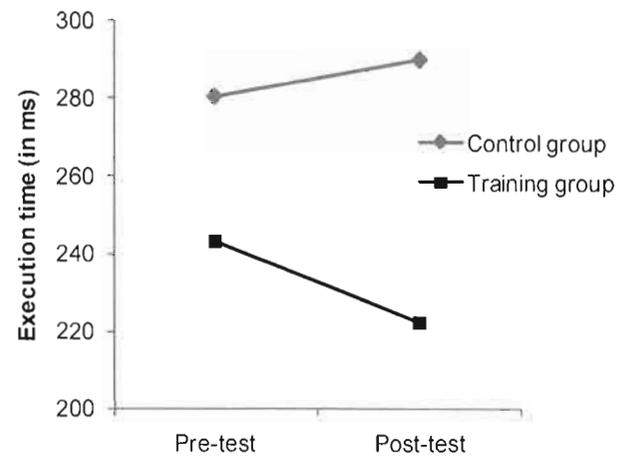


Figure 5



CHAPITRE 5 : Épreuves neuropsychologiques

Dans le premier chapitre de cet ouvrage, un aperçu des résultats les plus probants quant à l'effet bénéfique de la condition physique sur le vieillissement cognitif a été présenté. Les études recensées suggèrent un lien entre une bonne condition physique et de meilleures performances dans de nombreuses tâches cognitives, avec un effet plus marqué dans les tâches faisant appel aux fonctions exécutives.

Dans le présent chapitre, les études qui ont utilisées des tests neuropsychologiques similaires à ceux choisis dans la présente thèse seront présentées de façon détaillée. Seules les études s'intéressant aux effets bénéfiques de l'activité physique sur les performances cognitives de personnes âgées sans pathologie physique ou cognitive seront présentées. Les résultats des études transversales seront d'abord abordés, suivront les résultats des études longitudinales, et finalement les résultats des études d'intervention.

Études transversales

Des études transversales suggèrent que la condition cardiorespiratoire est associée positivement avec la cognition, plus spécifiquement sur des mesures des fonctions exécutives et d'attention. Toutefois, la plupart de ces études ont utilisé des mesures de temps de réaction et peu se sont intéressées aux effets bénéfiques de la condition physique sur la cognition mesurées à l'aide de tests neuropsychologiques cliniques standardisés.

Dustman et al. (1990), ont comparé les performances de 30 hommes âgés, séparés en deux groupes sur la base de leur VO_2 max, obtenu lors d'un test maximal d'exercice, à une tâche de temps de réaction simple, une tâche de Stroop, un test de Substitution de symboles et le Trail B. Les auteurs ont dérivé un score de cognition de ces quatre mesures et ont conclu que la performance cognitive des gens en

meilleure forme physique était significativement meilleure que les gens en moins bonne forme.

Dans une autre étude (van Boxtel et al., 1997), 132 sujets âgés entre 24 et 76 ans ont pris part à un test sous-maximal sur ergocycle et à une batterie de tests cognitifs incluant des tests d'intelligence, de mémoire verbale, et de vitesse cognitive simple et complexe. Les auteurs ont montré qu'à deux des sous-tests qui reflètent la vitesse cognitive complexe (i.e. *Stroop color/word interference* et *Concept Shifting Test*), la condition physique et l'interaction entre l'âge et la condition physique expliquait respectivement 1 et 2 % et 2 et 5 % additionnel de la variance après correction pour l'âge, le sexe et l'intelligence. Bixby et al. (2007) ont également effectué une analyse de régression qui a révélé que les résultats à l'index global du *Yale Physical Activity Survey* expliquait 2% de la variance au *Stroop color-word* et 4% de la variance dans un score d'interférence qui était calculé en soustrayant un score prédictif au *Stroop color-word* (qui était lui-même calculé en divisant le produit des résultats à la condition de lecture et de dénomination par la somme des résultats à ces deux mêmes conditions) du résultat obtenu au *Stroop color-word*.

Dans l'étude de Wojtek et al. (1992) la performance cognitive était évaluée sur une variété de tâches de mémoire distribuée sur un continuum de "automatique" à "cognitivement exigeante". Les participants de cette étude ont été séparés en deux groupe (split médian) sur la base de leur performance ($VO_2\text{max}$ moyen = 24.4 ml*kg⁻¹*min⁻¹) à une mesure de condition physique (test incrémentiel sur ergocycle). Les auteurs ont montré que les participants (n = 16) présentant une meilleure condition physique ont mieux performé dans la tâche de rappel libre (jugée cognitivement plus exigeante) que les gens du groupe en moins bonne forme physique (n = 17). Les auteurs n'ont pas observé de différence dans les tâches de mémoire dite automatique. Clarkson-Smith et Hartley (1989) ont également comparé

les performances de 62 aînés qui pratiquaient des activités physiques vigoureuses (mesurées à l'aide de questionnaires) à 62 aînés sédentaires et ont observé des performances supérieures chez les gens actifs dans des tâches de raisonnement (e.g. Matrices) et de mémoire de travail (e.g. empan de mots).

Études longitudinales

Afin de mieux explorer la relation causale entre le niveau de condition physique et le fonctionnement cognitif, certaines études longitudinales ont évalué l'effet d'une activité physique régulière en comparant des participants âgés sédentaires et des participants âgés actifs avant et après une période de plusieurs années

Barnes et al. (2003) ont rencontré 349 participants âgés de 65 ans et plus, physiquement actifs, qu'ils ont divisé en trois groupes selon le niveau initial de VO_2max , pour une évaluation à un temps fixe et 6 ans plus tard. Ils ont administré à tous leurs participants une batterie de tests neuropsychologiques à 6 ans (Mini-examen de l'état mental (MMSE), Trail B, Stroop, sous-test de Substitution du WAIS-R, *California Verbal Learning Test* (CVLT), épreuve de fluidité verbale morphologique et sémantique). Cette étude a démontré que la mesure de la condition cardiorespiratoire de base (VO_2peak) était associée positivement à de meilleures performances cognitives initiales (mesurée seulement avec le MMSE) et à une préservation des fonctions cognitives après une période de 6 ans. Les participants les plus en forme ont obtenu de meilleurs résultats aux tests faisant appel aux fonctions exécutives (Trail B, Stroop, sous-test de Substitution) et la mémoire à court terme (rappel immédiat du CVLT). Les scores utilisés pour les épreuves exécutives étaient le nombre de bonne réponse par minute pour le Trail B, le Stroop (condition interférence seulement) et le sous-test de Substitution. Il est toutefois à noter que les participants de cette étude étaient très éduqués (77% avec plus de 12 ans de

scolarité; moyenne de 14.3, 15.5 et 15.8 pour les individus moins en forme, moyennement en forme et en très bonne forme respectivement).

Études d'intervention

Les études d'intervention, dans lesquelles des personnes âgées physiquement inactives bénéficient d'un programme d'exercice régulier à une intensité le plus souvent suffisante pour augmenter significativement leur niveau de condition physique, ont aussi permis de confirmer la relation entre le niveau de condition physique et la vitalité cognitive. La majorité de ces études montrent une relation positive entre la condition physique et la cognition, notamment sur des tâches d'attention et des fonctions exécutives.

Dustman et al. (1984) ont entraîné (marche rapide, jogging léger) 13 sujets, trois fois par semaine pendant quatre mois, et ont comparé leur performance à différents tests avec un groupe d'exercice contrôle (flexibilité et étirements) et un groupe sans entraînement. Les auteurs ont observé une augmentation de la fonction cardiorespiratoire chez les participants entraînés. L'entraînement aérobic était également associé avec une amélioration significative de la vitesse psychomotrice (sous-test de Substitution) et de l'inhibition (épreuve de Stroop). Toutefois, l'entraînement physique semblait avoir peu d'effets sur la mémoire à court terme, tel que mesuré par une épreuve d'empan de chiffres. Kramer et al. (2001), pour leur part, ont assignés 124 personnes âgées entre 60 et 75 ans à un groupe (n = 66) d'entraînement aérobic (marche rapide) ou un groupe (n = 56) d'entraînement anaérobic (étirements) pour une période de 6 mois. Tous les participants ont été évalués sur une variété de tâche attentionnelles, de vitesse et de mémoire, dont l'empan en ordre direct et à rebours, le test de Substitution et le *Rey Auditory Verbal Learning Test* (RAVLT). Une amélioration significative de la mesure directe du VO₂max et du temps de marche au Rockport one-mile test a été observée dans le

groupe d'entraînement aérobie après 6 mois. Cette amélioration était accompagnée d'une meilleure performance au RAVLT, plus spécifiquement à une mesure de rappel immédiat, de maintien de l'ordre temporel, ainsi que de reconnaissance des mots.

Dans une autre étude, celle de Moul, Goldman et Warren (1995), 30 hommes et femmes sédentaires âgés entre 65 et 72 ans ont été assignés aléatoirement à un groupe de marche, un groupe d'exercices de force ou un groupe contrôle. Les séances d'entraînement duraient entre 30 et 60 minutes, cinq fois par semaine pendant 16 semaines. Les auteurs ont observé une amélioration de 15.8% du VO_2 peak après 16 semaines de marche, accompagnée d'un meilleur score au RIPA (*Ross Information Processing Assessment*), qui inclut différents sous-tests tel qu'un empan de chiffres, de mots et de phrases, une tâche de rappel d'information relative à l'environnement du participant, un test d'orientation spatiale, etc. Fabre et al. (2002), quant à eux, ont comparé les effets d'un programme d'entraînement aérobie et d'un programme d'entraînement cognitif sur les performances cognitives. Trente deux individus âgés entre 60 et 76 ans ont été assignés aléatoirement à un des quatre groupes suivants: entraînement aérobie, entraînement cognitif, entraînement aérobie et cognitif, contrôle. Les performances à un test incrémenté et à l'Échelle de mémoire de Wechsler ont été mesurées avant et après le programme d'entraînement. Après la période d'entraînement, les résultats ont montré une augmentation significative du VO_2 max de 12 et 11% pour le groupe entraînement aérobie et entraînement combiné respectivement. Le sous-test des Histoires logiques et des Mots Pairés, ainsi que le Quotient de mémoire étaient également significativement améliorés dans les trois groupes d'entraînement. Les auteurs ont conclu que les deux formes d'entraînement engendraient le même degré d'amélioration de la fonction cognitive, mais que la combinaison des deux types d'entraînement semblaient conduire à un effet plus important que chacune des techniques seule.

Toutefois, certaines études n'ont pu montrer d'amélioration cognitive à des tests neuropsychologiques suite à un programme d'entraînement physique, malgré une amélioration significative de la fonction cardiorespiratoire dans certaines d'entre-elles. À la suite d'un programme de quatre mois d'exercices aérobies, Blumenthal et al. (1989) ont obtenu une augmentation de 11.6% du VO_2 peak chez les participants du groupe d'entraînement. Toutefois cette amélioration de la fonction cardiovasculaire n'était pas accompagnée d'une amélioration à différentes tâches cognitives, tel que le sous-test de Substitution (WAIS-R), le Trail B, le Stroop, le Ruff 2 & 7, et la fluidité verbale. Hill, Storandt, and Malley (1993) ont également observé une amélioration de près de 23% du VO_2 max chez 87 aînés sédentaires suite à un programme d'entraînement d'une année. Cette amélioration n'était toutefois pas accompagnée d'une amélioration du fonctionnement cognitif mesuré à l'aide du sous-test des Histoires logiques du WMS III et du sous-test de Substitution du WAIS.

Dans l'étude de Emery et Gatz (1990) les effets d'un programme d'entraînement aérobie de 12 semaines sur la performance à différentes tâches cognitives (empan de chiffres, Substitution, test de vitesse d'écriture) a été mesurée. Les participants étaient assignés aléatoirement à un groupe d'entraînement aérobie, un groupe contrôle d'activités sociales et un groupe sans intervention. Les résultats de cette étude n'ont pas démontré de différence (physique et cognitive) entre les groupes après le programme d'entraînement. Pour leur part, van Boxtel et al. (1996) ont utilisé un questionnaire pour mesurer les habitudes d'activité physique (mesure indirecte de la condition physique) de 80 personnes âgées pour prédire leur performance dans plusieurs domaines cognitifs en stratifiant selon l'âge et le sexe. Les résultats de leur étude suggèrent un effet significatif de l'âge sur des mesures de vitesse cognitive et de fluidité verbale. Ils n'ont toutefois pas démontré un effet significatif de l'activité physique sur la performance aux mesures cognitives. Lupinacci et al. (1993), ont comparés les performances au test de Substitution de 56

professeurs universitaires séparés en deux groupes d'âge (plus et moins de 50 ans) et en deux niveaux d'activité physique (en moins bonne et en meilleure forme physique) à partir d'une échelle d'activité physique, un questionnaire et une entrevue. Les auteurs ont observés un effet d'âge au test de Substitution mais pas d'effet de la condition physique. Dans l'étude de Madden et al. (1989) 85 personnes âgées étaient aléatoirement assignées à un groupe d'entraînement aérobie (n = 25), d'entraînement anaérobie (n = 28) ou un groupe contrôle (n = 26). Après 16 semaines, les individus du groupe aérobie ont démontré une augmentation significative de leur capacité cardiorespiratoire. Cette amélioration n'était pas accompagnée d'une amélioration des performances cognitives en mémoire (*Letter search task, Word-comparison task*). Pour leur part, Blumenthal et Madden (1988) ont rapporté qu'à la fois des individus ayant participé à un programme d'entraînement aérobie et d'autres à un programme d'entraînement anaérobie de 12 semaines, montraient une amélioration similaire de leur performance à une tâche de recherche visuelle. Toutefois, dans cette étude, les participants étaient relativement jeunes (30 à 58 ans) et très en forme ($VO_2\text{max}$ moyen de $34 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Descriptions des épreuves neuropsychologiques

On constate que dans les études présentées dans ce chapitre, peu d'étude ont utilisées des tests neuropsychologiques cliniques tel que ceux administrés auprès d'une clientèle de personnes âgées. De plus, dans la grande majorité des études les résultats sont mitigées. Plusieurs des mesures utilisées dans la présente thèse ont été choisies afin d'apporter des éléments de réponse supplémentaire à la littérature existante. Étant donné que les résultats présentés sont partagés quant à l'effet de programme d'entraînement physique sur les performances cognitives, mais qu'ils abondent dans le sens d'un effet bénéfique de l'activité physique sur les mesures d'attention et de fonctions exécutives, et pour quelques études sur la mémoire, nous avons ciblé un nombre de tests dans ces deux domaines. Certaines des mesures

choisies permettront de confirmer ou d'infirmier les résultats obtenus dans les études antérieures (Substitution, Trail A et B), alors que d'autres mesures apportent un élément supplémentaire. La version du Stroop utilisée, par exemple, permet à la fois de vérifier l'interférence mais également la flexibilité mentale. Cette condition permet de faire un parallèle avec la Partie B du Trail qui elle aussi requière d'alterner entre deux concepts. La 4^e condition du Stroop est également un élément nouveau puisque les versions utilisées dans les études présentées ne comprennent pas cette condition. De plus, malgré que la Tour de Londres soit également une épreuve chronométrée, elle fait appel à la planification et la résolution de problème, des concepts relativement peu abordés dans la littérature. Avec l'épreuve de fluidité verbale, elle permet une mesure des fonctions exécutives moins motrice, comparativement à des tâches pures de temps de réaction. La tâche d'Alpha Span, quant à elle, est une mesure plus complexe de la mémoire de travail (rappel en ordre alphabétique) comparativement à la manipulation de matériel simple, tel que mesuré dans un empan de chiffres à rebours.

1. Attention et fonctions exécutives

a. Sous-test de Substitution (WAIS-III)

Le sous-test de Substitution (Wechsler, 1997) exige une bonne coordination visuo-motrice ainsi qu'une grande capacité d'exécution et d'exploration visuelle. En se référant à une légende, le participant doit dessiner le signe correspondant à un chiffre. Il dispose de 120 secondes pour dessiner le plus d'items possible.

b. Trail A et B

Il s'agit d'un test qui demande d'alterner mentalement entre deux séquences conceptuelles, i.e. de suivre mentalement des séries de chiffres et de lettres en alternance de façon systématique. Pour la partie A, le participant doit relier avec un crayon, des nombres de 1 à 25 en ordre croissant, le plus rapidement possible. Pour la partie B, le participant doit alterner, entre une

lettre (en ordre alphabétique) et un chiffre (en ordre croissant) (i.e. 1-A-2-B-3-C, etc.), le plus rapidement possible.

c. Épreuve de Stroop (4 couleurs)

L'épreuve de Stroop (Bohnen, N., Twijnstra, A., & Jolles, J., 1992, Châtelois et al., 1996) nécessite l'élaboration d'une stratégie afin d'inhiber une réponse habituelle (lire un mot) au profit d'une réponse peu habituelle (dire la couleur d'un mot). Elle requiert également la flexibilité attentionnelle, qui demande d'alterner rapidement entre donner une réponse habituelle et donner une réponse moins habituelle. Le Stroop comprend quatre conditions. Dans la première condition (lecture), le participant doit lire le plus rapidement possible des mots de couleurs écrit en noir. Dans la deuxième condition (dénomination), le participant doit nommer le plus rapidement possible la couleur de rectangles. Dans la troisième condition (interférence), le participant doit dire, le plus rapidement possible, la couleur de l'encre de mots dont le sens est incongruent avec la couleur (e.g. vert écrit en rouge). Dans la dernière condition (flexibilité), le participant doit alterner entre nommer la couleur de l'encre de mots de couleur (tel que fait à la condition 3) et lire les mots.

d. Tour de Londres

La Tour de Londres permet d'évaluer différentes composantes exécutives, dont la planification et la résolution de problème. Dans cette tâche, l'expérimentateur et le participant possède deux supports identiques avec trois tiges et trois boules. On demande au participant de reproduire le plus rapidement possible le modèle de l'expérimentateur, en effectuant le moins de déplacements possible. Certaines règles doivent également être respectées: n'utiliser qu'une seule main, déplacer une seule boule à la fois, etc.

e. Épreuve de fluidité verbale

L'épreuve de fluidité verbale, mesure la capacité du participant à générer le plus de mots possibles commençant par une lettre spécifique sous contrainte

temporelle. On demande au participant de donner le plus grand nombre de mots qui commence par une certaine lettre (P-T-L) en 90 secondes, en respectant deux règles: ne pas donner de noms propres, ni de mots de la même famille.

2. Mémoire verbale

a. RL/RI-16 Test

Le RL/RI-16 Test (Van der Linden, M., & the GREMEM members, 2004) permet de s'assurer qu'une stratégie efficace d'encodage a été appliquée durant l'apprentissage et la récupération de l'information. Seize mots à mémoriser sont présentés au participant sur des fiches par groupe de quatre. Pour chacune des fiches, on demande au participant de lire à haute voix l'item correspondant à l'indice catégoriel fourni par l'expérimentateur. Lorsque les quatre items d'une fiche ont été correctement identifiés, l'examineur retire la fiche et administre un test de rappel immédiat indicé (RII) des quatre mots. Un feedback immédiat est fourni sur la réponse. Le participant a un maximum de trois RII pour se souvenir des quatre mots correctement. On procède de la même manière pour les trois autres fiches de quatre items. Après une tâche de distraction de 20 secondes (comptage à rebours), on demande au participant de rappeler l'ensemble des mots qui lui ont été présenté dans n'importe quel ordre. Cette phase de rappel libre est suivie d'une étape de rappel indicé mais uniquement pour les items non évoqués par le participant. Cette procédure de rappel libre et de rappel indicé est répétée trois fois et les trois essais sont séparés par la tâche de distraction de comptage à rebours. On propose ensuite une reconnaissance oui/non des 16 mots parmi 32 distracteurs. 20 minutes plus tard, on effectue un rappel libre différé et un rappel indicé différé des 16 mots.

b. Tâche Alpha-Span

La tâche Alpha-Span requiert les ressources de l'administrateur central de la mémoire de travail. Le participant doit, en plus de maintenir l'information en

mémoire, la manipuler et faire un rappel de mots selon leur ordre alphabétique. On mesure d'abord l'empan en lisant des mots au participant que ce dernier doit rappeler dans l'ordre. On commence avec deux mots, pendant deux essais et si le participant les rappelle correctement, on passe à trois mots et ainsi de suite. Lorsque le participant échoue un des deux essais on lui en donne deux supplémentaires pour s'assurer d'une mesure précise de l'empan. Lorsque deux essais sur quatre sont réussis, on passe à la longueur suivante. L'empan du sujet est donc défini comme étant la plus longue série rappelée à deux essais sur quatre. On procède ensuite à une tâche de rappel simple (5 essais) de mots de même longueur que l'empan du participant. On effectue ensuite 10 essais de la condition expérimentale où on demande au participant de rappeler les mots en ordre alphabétique. On termine avec 5 essais de rappel simple.

Première étude

Participants

La description et les critères de sélection des participants sont présentés au Chapitre 3 à la page 46.

Résultats

Les résultats aux tests neuropsychologiques (voir Tableau 1) ont été analysés à l'aide d'ANOVA avec la condition physique et l'âge comme facteur inter-sujet. Une différence significative a été obtenue entre les groupes d'âge au sous-test de Substitution, $F(1, 106) = 8.26, p < .05, \eta^2 = .07$, (groupe 60-69; 60.20 symboles, groupe 70-79; 51.50 symboles). Au Trail, une ANOVA avec les Parties A et B (Condition) comme facteur répété a révélé un effet principal de Condition, $F(1, 105) = 382.54, p < .001, \eta^2 = .78$, et une interaction significative Age x Condition, $F(1, 105) = 8.77, p < .01, \eta^2 = .08$. Des analyses supplémentaires ont révélé une plus

petite différence entre les groupes d'âge à la Partie A, $F(1, 106) = 8.81, p < .01, \eta^2 = .08$, qu'à la Partie B, $F(1, 106) = 12.91, p < .001, \eta^2 = .11$. Les participants plus jeunes ayant complété les deux parties plus rapidement que les participants plus vieux (Partie A: groupe 60-69; 38.63 s, groupe 70-79; 47.01 s, Partie B: groupe 60-69; 89.33 s, groupe 70-79; 115.82 s). Les résultats à la tâche de Stroop⁶ ont été analysés en utilisant les quatre conditions (lecture, dénomination, interférence, flexibilité) comme facteur intra-sujet. Cette analyse a révélé un effet principal de Condition, $F(3, 315) = 797.62, p < .001, \eta^2 = .88$, et une interaction significative Age x Condition, $F(3, 315) = 15.98, p < .001, \eta^2 = .13$. Des analyses supplémentaires ont révélées une différence significative entre les groupes d'âge à la condition de lecture, $F(1, 106) = 4.14, p < .05, \eta^2 = .04$, d'interférence, $F(1, 106) = 19.08, p < .001, \eta^2 = .15$, et de flexibilité, $F(1, 106) = 18.63, p < .001, \eta^2 = .15$. Une ANOVA a également été faite sur le nombre d'erreurs à chacune des conditions. L'analyse a révélé un effet principal de Condition, $F(3, 315) = 69.74, p < .05, \eta^2 = .40$, et une interaction significative Age x Condition, $F(3, 315) = 3.28, p < .05, \eta^2 = .03$. Des analyses supplémentaires effectuées sur chacune des conditions séparément ont montré une différence significative liée à l'âge sur le nombre d'erreurs effectuées à la condition de flexibilité seulement, $F(1, 105) = 4.53, p < .05, \eta^2 = .04$.

Les performances (nombre de mouvements, temps de planification et temps total) à la Tour de Londres ont été analysées séparément avec la complexité des problèmes (trois et cinq mouvements) comme facteur intra-sujet. La complexité des problèmes avait un effet significatif sur chacune des variables (nombre de mouvements; $F(1, 106) = 691.79, p < .001, \eta^2 = .88$, temps de planification; $F(1, 106) = 25.99, p < .001, \eta^2 = .20$, temps total; $F(1, 106) = 242.08, p < .001, \eta^2 = .70$). L'analyse sur le nombre total de mots produits à l'épreuve de fluidité verbale

⁶ Il est à noter qu'une personne n'a pas complété le test dû à son daltonisme.

n'a pas révélé de différence significative entre les quatre groupes, $F(1, 106) < 1$. À la tâche d'Alpha Span, il y avait une différence significative entre les groupes d'âge sur l'empan de mots, $F(1, 106) = 5.23$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$; les participants plus jeunes ayant un empan de mots légèrement plus élevé (4.38) que les participants plus vieux (4.06). Au RL/RI-16 Test, il y avait également une différence significative entre les groupes d'âge au rappel libre, $F(1,106) = 14.54$, $p < .001$, $\eta^2 = .12$, et au rappel différencié, $F(1, 106) = 8.75$, $p < .01$, $\eta^2 = .08$. Les participants du groupe 60-69 ans ayant rappelé plus de mots aux rappels libre (32.70) et différencié (13.10), comparativement aux participants du groupe 70-79 ans (libre; 28.28, différencié; 11.80).

Aucun des résultats aux tests neuropsychologiques de la première étude impliquaient des effets de la condition physique ou d'interactions avec le niveau de condition physique.

Tableau 1

Moyennes et écart-types (entre parenthèses) des résultats aux épreuves neuropsychologiques pour les personnes âgées en moins bonne forme et en meilleure forme physique en fonction du groupe d'âge.

	Moins en forme (n = 55)		Plus en forme (n = 55)	
	60-69 (n = 25)	70-79 (n = 35)	60-69 (n = 30)	70-79 (n = 20)
Substitution de symboles	60.40 (20.55)	50.40 (13.46)	60.00 (15.08)	52.60 (11.36)
Trail Making Test				
Partie A	40.41 (16.11)	49.38 (16.92)	36.83 (12.14)	44.63 (12.05)
Partie B	90.67 (36.58)	122.81 (38.62)	87.98 (31.77)	108.82 (47.01)
Stroop				
Lecture	44.02 (6.71)	46.59 (7.62)	41.85 (6.41)	44.79 (6.88)
Dénomination	68.86 (14.34)	72.41 (14.11)	63.07 (10.98)	68.56 (14.26)
Interférence	121.90 (32.58)	141.52 (29.28)	111.04 (19.34)	139.55 (33.10)
Flexibilité	134.65 (42.06)	163.26 (40.26)	124.72 (19.55)	154.81 (36.28)
Tour de Londres				
Trois mouvements				
Nombre de mouvements	3.16 (0.60)	3.07 (0.16)	3.27 (0.95)	3.10 (0.19)
Temps de planification	5.75 (4.71)	6.57 (3.71)	5.17 (2.31)	4.22 (2.32)
Temps total	14.16 (17.36)	11.33 (4.31)	10.82 (6.28)	9.95 (6.08)
Cinq mouvements				
Nombre de mouvements	7.81 (2.08)	8.06 (1.86)	7.29 (1.37)	7.72 (1.79)
Temps de planification	8.17 (5.16)	7.72 (4.68)	7.30 (3.83)	6.82 (4.10)
Temps total	31.38 (12.91)	34.27 (13.00)	25.91 (7.97)	28.37 (12.76)
Fluidité verbale (nombre total de mots)	47.52 (17.43)	42.17 (14.14)	52.91 (17.21)	47.00 (12.46)
RL/RI-16 Test				
Rappel libre (somme essais 1, 2 et 3)	33.80 (4.86)	28.10 (7.43)	31.60 (5.81)	28.45 (4.82)
Rappel différé	13.48 (1.36)	11.60 (2.88)	12.71 (1.90)	12.00 (2.60)
Alpha Span				
Empan de mots	4.24 (0.52)	3.97 (0.68)	4.51 (0.85)	4.16 (0.60)
Rappel alphabétique (%)	66.72 (17.69)	63.81 (16.98)	65.36 (17.07)	64.40 (12.99)

Discussion

Une partie de la première étude avait pour but d'explorer les bénéfices de la condition cardiorespiratoire sur la performance à des tests neuropsychologiques qui sont fréquemment utilisés en clinique avec les personnes âgées. Les résultats ont montré des différences liées à l'âge aux tests d'attention et de fonctions exécutives, de vitesse psychomotrice, et de mémoire, qui n'étaient pas significativement modérées par le niveau de condition cardiorespiratoire des participants.

Malgré que dans la majorité des études transversales répertoriées dans ce chapitre, les auteurs concluent à des effets bénéfiques de la condition physique sur les performances cognitives mesurées à l'aide d'épreuves neuropsychologiques, les résultats obtenus ne semblent pas aussi clairs. Par exemple, dans l'étude de Dustman et al. (1990), les scores obtenus individuellement au Stroop, au test de Substitution et au Trail B ne sont pas présentés dans l'article. On ne peut donc savoir si la meilleure performance des gens en bonne forme physique au score de cognition reflète une meilleure performance à une seule mesure (i.e. le temps de réaction) plutôt qu'une amélioration à chacune des mesures. De plus, l'âge moyen des hommes du groupe plus en forme et moins en forme était respectivement de 53.8 et 55.9, ce qui est plutôt jeune lorsque l'on s'intéresse aux effets bénéfiques de l'activité physique chez les personnes âgées. Dans l'étude de van Boxtel al al., (1997) même si l'effet rapporté est significatif, le pourcentage de variance expliqué (jusqu'à 5%) est plutôt faible. Mentionnons également que dans leur étude, les auteurs ont utilisé une version modifiée du sous-test de Substitution (*Letter Digit Substitution Test*) pour lequel ils n'ont pas obtenu de résultats significatifs. Dans l'étude de Bixby et al. (2007) le pourcentage de variance expliquée est encore une fois plutôt faible (jusqu'à 4%). De plus, les auteurs ont utilisé un questionnaire pour mesurer le niveau de condition physique, ce qui est moins précis qu'une mesure objective. L'âge moyen des participants dans cette étude était également très élevé (78.9).

À la lumière des études présentées dans ce chapitre, il appert que les effets de la condition physique sur les performances cognitives mesurées à l'aide de tests neuropsychologiques sont plutôt marginaux.

Deuxième étude

Participants

La description et les critères de sélection des participants sont présentés au Chapitre 4 à la page 76.

Résultats

Des analyses de variance ont été effectuées sur chacun des tests neuropsychologiques administrés avec le model général suivant: Groupe (entraînement et contrôle) et Niveau de base de condition physique (moins en forme et plus en forme) comme facteur intra-sujet et le Temps (avant et après l'intervention de 12 semaines) comme facteur inter-sujet. Lorsque le test de sphéricité de Mauchly atteignait le niveau de significativité pour les mesures répétées, un effet est rapporté significatif en accord avec le niveau alpha ajusté (Huynh-Feldt). Dans cette section, les analyses sont rapportées significatives lorsqu'elles atteignent le niveau de significativité en contrôlant pour l'âge. Les résultats aux épreuves neuropsychologiques sont présentés au Tableau 2.

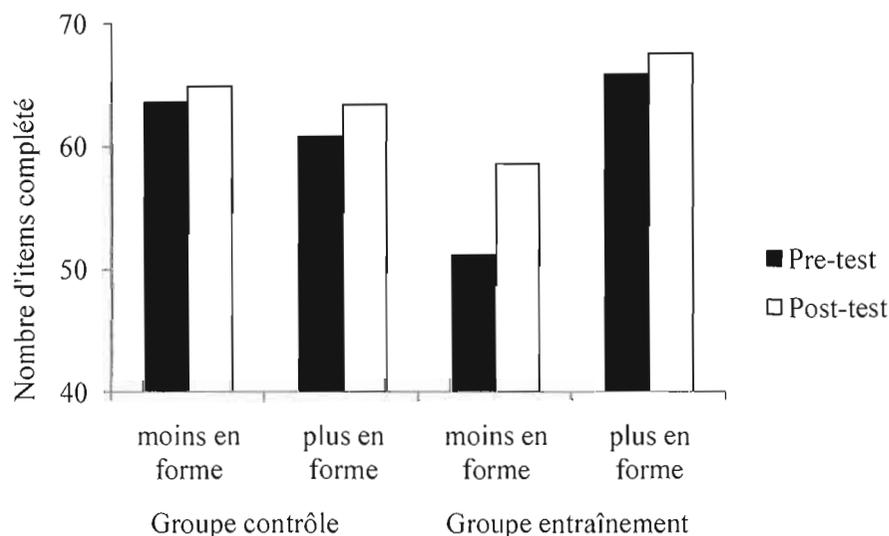
Tableau 2

Moyennes et écart-types (entre parenthèses) des résultats aux épreuves neuropsychologiques pour les personnes âgées du groupe contrôle et du groupe entraînement en fonction du niveau de base de la condition physique.

	Groupe contrôle				Groupe entraînement			
	Moins en forme		Plus en forme		Moins en forme		Plus en forme	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
Substitution de symboles	63.57 (16.48)	64.86 (16.71)	60.82 (6.18)	63.36 (8.23)	51.18 (12.81)	58.64 (14.53)	65.86 (13.62)	67.57 (14.16)
Trail Making Test								
Partie A	43.57 (20.81)	38.38 (16.49)	38.94 (9.54)	37.75 (11.31)	43.45 (12.00)	45.56 (19.65)	37.82 (14.28)	38.06 (18.29)
Partie B	89.21 (38.41)	102.28 (39.92)	100.13 (32.97)	94.53 (30.87)	108.16 (31.92)	105.68 (42.25)	78.32 (35.67)	93.69 (45.64)
Stroop								
Lecture	44.29 (6.82)	45.74 (5.50)	43.96 (6.96)	45.08 (8.25)	46.90 (7.02)	47.29 (6.84)	41.22 (4.33)	42.88 (5.57)
Dénomination	75.36 (18.19)	71.85 (17.40)	67.05 (13.13)	66.92 (13.13)	64.35 (8.74)	63.95 (8.95)	65.21 (13.60)	63.99 (9.51)
Interférence	125.04 (26.33)	119.67 (32.35)	127.01 (34.96)	124.81 (41.41)	122.59 (29.42)	121.08 (32.89)	105.93 (19.66)	100.91 (18.35)
Flexibilité	135.36 (24.76)	133.67 (35.04)	130.47 (15.76)	133.72 (22.60)	150.88 (51.16)	136.26 (31.47)	122.60 (18.12)	117.877 (20.80)
Tour de Londres								
Trois mouvements								
Nombre de mouvements	3.26 (0.80)	3.02 (0.08)	3.33 (1.11)	3.26 (0.70)	3.00 (0.00)	3.61 (1.79)	3.07 (0.14)	3.33 (0.72)
Temps de planification	4.47 (2.96)	3.78 (2.42)	6.06 (3.05)	5.41 (3.75)	5.49 (2.28)	4.57 (1.78)	4.85 (3.93)	3.767 (2.10)
Temps total	9.93 (7.45)	7.69 (2.33)	12.05 (7.04)	11.83 (8.44)	10.06 (3.62)	10.24 (7.23)	14.75 (22.01)	8.12 (3.20)
Cinq mouvements								
Nombre de mouvements	8.04 (1.74)	7.72 (1.70)	7.44 (1.26)	7.83 (1.83)	8.95 (2.28)	7.65 (1.42)	8.28 (2.14)	7.56 (1.80)
Temps de planification	5.46 (2.77)	5.13 (2.86)	8.06 (5.82)	7.69 (5.04)	8.31 (5.93)	8.57 (7.89)	6.01 (3.32)	4.91 (1.91)
Temps total	26.94 (8.48)	22.39 (6.21)	26.28 (9.12)	26.60 (9.73)	37.71 (13.29)	31.47 (15.71)	27.52 (11.88)	23.84 (12.38)
Fluidité verbale (nombre total de mots)	46.50 (13.08)	51.50 (15.47)	51.27 (11.05)	50.82 (12.57)	44.82 (13.01)	44.18 (14.39)	48.71 (12.00)	49.64 (14.36)
RL/RI-16 Test								
Rappel libre (somme essais 1, 2 et 3)	40.50 (6.64)	42.71 (6.47)	43.55 (7.33)	45.36 (7.86)	42.73 (9.55)	44.73 (9.70)	45.77 (7.67)	47.84 (6.07)
Rappel différé	11.93 (1.54)	11.43 (2.03)	12.64 (1.63)	11.91 (1.81)	11.82 (3.22)	12.09 (2.81)	12.77 (1.96)	12.85 (1.68)
Alpha Span								
Empan de mots	4.00 (0.39)	4.14 (0.36)	4.27 (0.65)	4.18 (0.87)	3.82 (0.60)	3.73 (0.47)	4.15 (0.56)	4.31 (0.63)
Rappel alphabétique (%)	69.12 (14.75)	66.82 (13.92)	67.50 (20.96)	72.31 (14.06)	66.94 (16.46)	71.75 (15.46)	65.35 (12.38)	59.49 (26.01)

Une effet principal de Temps, $F(1, 46) = 14.31, p < .001, \eta^2 = .24$, a été obtenu au sous-test de Substitution. Ce effet principal était également qualifié par une interaction significative Groupe x Niveau de base de condition physique x Temps (montré à la Figure 1), $F(1, 46) = 4.15, p < .05, \eta^2 = .08$.⁷ Des analyses complémentaires ont tout de même été effectuées séparément pour chacun des groupes. Les analyses ont révélé une interaction significative Temps x Niveau de base de condition physique dans le groupe entraînement, $F(1, 23) = 4.68, p < .05, \eta^2 = .17$, due à une amélioration significative dans le groupe moins en forme, $F(1, 10) = 13.38, p < .001, \eta^2 = .57$, mais pas dans le groupe plus en forme, $F(1, 13) < 1$. Dans le groupe contrôle la performance n'a pas changé avec le temps, $F(1, 23) < 1$.

Figure 1



Une analyse de variance effectuée sur les résultats au Trail avec les Parties A et B (Condition) comme facteur répété, a montré un effet principal de Temps, $F(1, 46) = 228.75, p < .001, \eta^2 = .83$, et une interaction significative de Groupe x Niveau

⁷ Toutefois cette interaction ne s'est avéré que marginalement significative en contrôlant pour l'âge, $F(1, 45) = 3.77, p = .059, \eta^2 = .08$

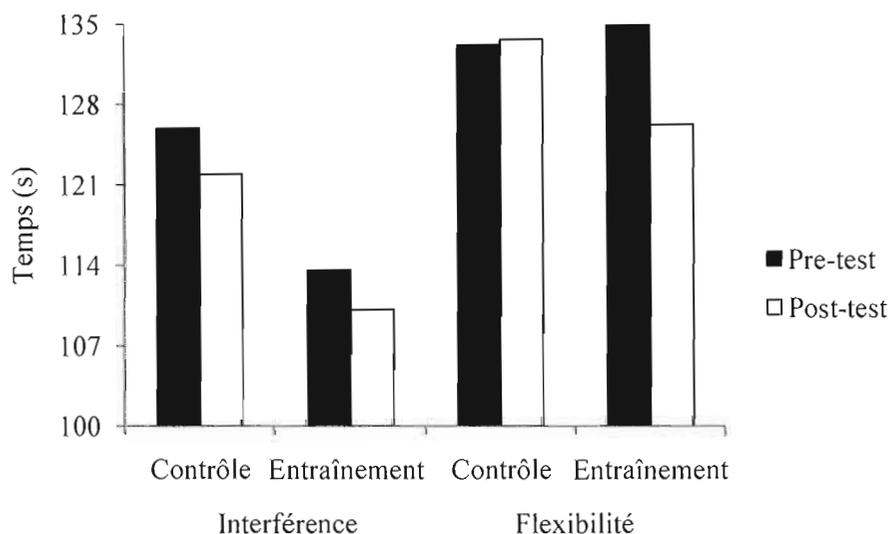
de base de condition physique x Temps x Condition, $F(1, 46) = 8.55, p < .01, \eta^2 = .16$. Des analyses supplémentaires effectuées séparément pour chacun des groupes ont montré un effet significatif de Temps dans les deux groupes (contrôle: $F(1, 23) = 133.90, p < .01, \eta^2 = .85$; entraînement: $F(1, 22) = 99.10, p < .01, \eta^2 = .81$). De façon surprenante, les participants des deux groupes ont pris globalement plus de temps pour compléter la Partie A et la Partie B en post-test qu'en pré-test. Aucun autre effet ou interaction n'a atteint le niveau de significativité dans le groupe entraînement. Toutefois, dans le groupe contrôle, l'interaction Niveau de base de condition physique x Temps x Condition était significatif, $F(1, 23) = 4.51, p < .05, \eta^2 = .16$, dû à un temps significativement plus long pour compléter la Partie B en post-test chez les participants en moins bonne en forme, $F(1, 13) = 7.43, p < .05, \eta^2 = .36$, qui n'a pu être observé chez les participants en meilleure forme physique.

Au Stroop⁸ (voir Figure 2), une analyse de variance a été effectuée avec les quatre conditions (lecture, dénomination, interférence, flexibilité) comme facteur intra-sujet. L'analyse a révélé un effet principal de Condition, $F(2.1, 93.8) = 348.03, p < .001, \eta^2 = .89$, qui était espéré, étant donné que le temps pour compléter le test est le plus souvent plus long dans la condition de flexibilité (132.59 s) que dans la condition d'interférence (118.38 s), de dénomination (67.33 s), et de lecture (44.67 s). L'analyse a également révélé une interaction Groupe x Temps x Condition, $F(2.0, 91.3) = 3.05, p < .05, \eta^2 = .06$. Des analyses supplémentaires ont alors été effectuées pour chacun des groupes séparément. Les résultats pour le groupe entraînement ont montré un effet principal de Temps, $F(1, 23) = 8.34, p < .01, \eta^2 = .27$, de Condition, $F(1.4, 31.2) = 158.86, p < .01, \eta^2 = .88$, et une interaction significative de Temps x Condition, $F(1.6, 35.6) = 3.55, p < .05, \eta^2 = .13$. Le temps pour compléter le test s'est amélioré significativement après l'entraînement à la condition d'interférence,

⁵ Il est à noter qu'un participant n'a pas complété le test dû à son daltonisme.

$F(1, 23) = 4.31, p < .05, \eta^2 = .16$, et de flexibilité, $F(1, 23) = 5.05, p < .05, \eta^2 = .18$. Il est intéressant de noter que l'amélioration au Stroop était indépendante du niveau de base de condition physique parce qu'aucune interaction impliquant ce facteur n'a été obtenue. Dans le groupe contrôle, l'effet principal espéré de Condition était significatif, $F(1.9, 48.2) = 179.23, p < .001, \eta^2 = .88$, mais il n'y avait pas de changement avec le temps (Temps: $F(1, 23) < 1$; Temps x Condition: $F(2.0, 46.8) = 1.43, n.s.$)

Figure 2



En ce qui a trait à la tour de Londres, tel que mentionné dans l'étude 1, des analyses ont été effectuées séparément pour chacune des variables d'intérêt (nombre de mouvements, temps de planification, temps total) avec la complexité des problèmes (trois et cinq mouvements) comme facteur répété. Le nombre de mouvement est la seule variable ayant montré des effets bénéfiques de l'entraînement physique. De ce fait, une ANOVA effectuée sur cette variable a montré un effet principal de Complexité des problèmes, $F(1, 46) = 405.38, p < .001, \eta^2 = .90$. Il y a avait également une interaction significative de Temps x Complexité

des problèmes, $F(1, 46) = 4.59, p < .05, \eta^2 = .09$, et de Groupe x Temps x Complexité des problèmes, $F(1, 46) = 7.82, p < .01, \eta^2 = .15$. Des analyses supplémentaires effectuées pour chacun des groupes séparément indiquaient un effet principal de Complexité des problèmes pour les deux groupes (contrôle: $F(1, 24) = 235.88, p < .001, \eta^2 = .91$; entraînement: $F(1, 24) = 195.37, p < .001, \eta^2 = .90$). De plus, l'interaction Temps x Complexité des problèmes était significative dans le groupe entraînement, $F(1, 24) = 9.18, p < .01, \eta^2 = .28$, mais pas dans le groupe contrôle, $F(1, 24) < 1$. Les personnes âgées ayant participé au programme d'entraînement, ont fait moins de mouvements pour les types de problème à cinq mouvements, $F(1, 24) = 7.27, p < .05, \eta^2 = .23$, (pré-test: 8.6 mouvements; post-test: 7.6 mouvements) en post-test. La diminution dans le nombre de mouvements était indépendante du niveau de base de la condition physique, étant donné l'absence d'interaction impliquant ce facteur. L'analyse des résultats du temps de planification a également montré un effet principal de Complexité des problèmes, $F(1, 46) = 16.73, p < .01, \eta^2 = .27$, mais cet effet principal n'était pas qualifié par un effet d'entraînement ou de niveau de base de la condition physique. L'analyse de variance effectuée sur le temps total pris pour compléter les problèmes indiquait un effet principal de Temps, $F(1, 46) = 4.93, p < .05, \eta^2 = .10$, et de Complexité des problèmes, $F(1,46) = 199.71, p < .001, \eta^2 = .81$. L'interaction Niveau de base de condition physique x Type de problème a également atteint le seuil de significativité, $F(1, 46) = 5.59, p < .05, \eta^2 = .11$. Des analyses supplémentaires ont révélé une différence significative entre les participants du groupe moins en forme et plus en forme pour les problèmes à trois mouvements seulement, $F(1, 24) = 126.87, p < .001, \eta^2 = .84$ (cinq mouvements: $F(1, 24) = 1.22, n.s.$). De façon surprenante, les individus en moins bonne forme physique ont pris globalement moins de temps pour compléter les problèmes (9.4 s), comparativement aux individus en meilleure forme physique (11.6 s). Toutefois, il est à noter que cet effet n'était pas dépendant du programme d'entraînement.

Les analyses effectuées sur le RL/RI-16 Test ont montré un effet principal de Temps au rappel libre (somme totale des essais 1, 2 et 3), $F(1, 46) = 7.44, p < .01, \eta^2 = .14$, ce qui suggère que globalement la performance s'est améliorée du pré-test au post-test (pré-test: 31 mots; post-test: 33 mots). Toutefois, cet effet est possiblement le fruit d'un effet test re-test, alors qu'il n'interagit pas avec le groupe ou le niveau de base de la condition physique.

Finalement mis à part les effets rapportés ci-haut, il n'y avait pas d'effet significatif du programme d'entraînement ou d'interaction impliquant le programme d'entraînement aux autres épreuves neuropsychologiques.

Discussion

Cette section de la deuxième étude avait pour but d'examiner l'effet d'un programme d'exercice de trois mois sur les performances à des tests neuropsychologiques mesurant la vitesse psychomotrice, l'attention et les fonctions exécutives, ainsi que la mémoire.

Les résultats obtenus aux tests neuropsychologiques suggèrent que l'amélioration de la condition physique après un entraînement aérobic engendre également des bénéfices au niveau cognitif, mesurés avec des tests neuropsychologiques. Une amélioration après le programme d'entraînement physique a été observée au test de Substitution de symboles (WAIS-III). Toutefois, cette amélioration n'était que marginalement significative lorsque l'on contrôlait pour l'âge. Une amélioration à la tâche modifiée de Stroop et à la Tour de Londres a également été montrée. Les résultats à la tâche de Stroop vont dans le même sens que ceux de Dustman et al. (1984). Ce dernier avaient également montré une amélioration au test de Substitution de symboles et dans une version abrégée de la

tâche de Stroop suite à un programme d'entraînement physique de quatre mois chez des sujets sédentaires âgés entre 55 et 77 ans.

Un apport de la présente étude réside dans l'utilisation d'une tâche modifiée de Stroop qui comprend quatre conditions et qui nous permet de distinguer des composantes exécutives de composantes automatiques. En fait l'amélioration au Stroop ont était spécifique aux conditions de la tâche qui impliquent les processus de contrôle exécutif, i.e. la condition de flexibilité et la condition d'interférence, accompagnée d'une absence d'amélioration aux conditions non-exécutives (lecture et dénomination de couleur). Les résultats à l'épreuve de la Tour de Londres supportent également la notion que le contrôle exécutif s'améliore chez des individus âgés après un programme d'entraînement physique.

Les études d'intervention recensées dans le présent chapitre suggèrent un effet plus marqué d'un entraînement physique de type aérobie sur les fonctions attentionnelles et exécutives. Toutefois d'autres études visant l'amélioration de ces mêmes fonctions suite à un entraînement cardiovasculaire n'ont pu obtenir de résultats significatifs. La présente étude nous a permis d'observer une meilleure performance des participants entraînés à une tâche mesurant l'inhibition et la flexibilité attentionnelle. Toutefois, le programme n'a eu que peu d'effets sur les autres mesures exécutives et de mémoire.

Conclusion

À la lumière des présents résultats et des études recensées dans ce chapitre, il apparaît que plusieurs facteurs peuvent expliquer la divergence des résultats, tels que la prise de mesure de la condition physique (questionnaires, test sous-maximal, VO_2 max, etc.), les fonctions cognitives étudiées (attention, fonctions exécutives, mémoire, etc.), l'âge des participants, le niveau d'éducation, le niveau d'activité

intellectuelle, etc. Toutefois, malgré les discordances de résultats des différentes études, nous pouvons spéculer que l'activité physique a une influence bénéfique sur la cognition.

CHAPITRE 6 : Discussion générale

Il est généralement admis qu'un individu qui présente une bonne condition physique en bénéficie à plusieurs niveaux (physique, psychologique, cognitif). En ce qui a trait aux bienfaits de la condition physique sur le fonctionnement cognitif, bien que plusieurs études montrent une relation positive entre la santé cardiorespiratoire et le contrôle exécutif chez les aînés, la nature de cette relation est encore mal connue. La présente thèse visait, d'une part, à mesurer les bienfaits d'une bonne condition physique cardiorespiratoire sur les performances cognitives de personnes âgées en bonne santé (étude 1), et d'autre part, à mesurer l'impact d'un programme d'entraînement physique sur les performances cognitives de personnes âgées sédentaires (étude 2). Dans les deux études, les performances cognitives ont été évaluées à l'aide d'épreuves neuropsychologiques permettant de distinguer différentes composantes des fonctions exécutives et d'une tâche expérimentale de préparation à répondre.

Première étude

La première étude présentée au Chapitre 2 avait d'abord pour but de mesurer l'impact potentiel de la condition physique sur la préparation à répondre en utilisant une tâche de temps de réaction (TR) simple et une tâche de TR au choix dans laquelle les paramètres temporels variaient pour générer des effets préparatoires spécifiques. La préparation à répondre est une composante attentionnelle impliquée dans le contrôle et l'exécution d'action volontaire (Stuss et al., 2005) et des données empiriques suggèrent que la capacité à se préparer diminue avec l'âge (Bherer & Belleville, 2004).

Les résultats de cette étude ont montré que les participants âgés présentant une meilleure condition physique montraient de meilleures capacités à développer rapidement un état préparatoire optimal et étaient capables de maintenir un niveau de préparation plus élevé pour de plus longues périodes de temps, soit jusqu'à 7 et 9

secondes. Les participants avec une moins bonne condition physique avaient besoin de plus de temps pour préparer une réponse et n'arrivaient pas à maintenir un état préparatoire optimal sur de longues périodes. De plus, l'effet de la condition physique sur la préparation à répondre était équivalent dans les deux groupes d'âge, ce qui suggère qu'à tout le moins, entre 60 et 80 ans, maintenir un niveau élevé de condition physique peut prévenir une baisse des capacités de préparation à répondre.

Les analyses, on également montré une interaction entre l'âge et la condition physique dans les temps d'exécution. En fait, parmi les participants du groupe plus âgé (70-79), les individus avec une moins bonne condition physique montraient des temps d'exécution plus lents que les individus avec une meilleure condition physique, ce qui suggère que la condition physique pourrait avoir un effet protecteur sur le ralentissement relié à l'âge souvent observé dans l'exécution de réponses motrices, et que, cet effet protecteur pourrait être observé au début de la soixantaine jusqu'à 79 ans.

Il a été proposé que le vieillissement normal puisse altérer la préparation à répondre de trois façons différentes, soit 1) par une incapacité à développer rapidement un état préparatoire optimal, 2) par une incapacité à maintenir la préparation avec le temps (Salthouse, 1985), et 3) par une incapacité de se préparer pour des événements incertains (Bherer & Belleville, 2004; Lahtela, Niemi, Kuusela, 1985). Les résultats de cette première étude ont montré que les individus âgés avec une meilleure condition physique ont produit des temps d'initiation plus rapides pour des intervalles préparatoires courts et longs, comparativement aux participants présentant une moins bonne forme physique. Cela suggère que les individus en meilleure forme physique sont davantage capables de se préparer quand la probabilité d'apparition du stimulus augmente et de maintenir cet état préparatoire pour de longues périodes (jusqu'à 9 secondes). Ces résultats corroborent ceux d'études antérieures qui ont montré que la condition aérobie est associée à une

préparation motrice plus efficiente chez des individus âgés (Hillman, Weiss, Hagberg, & Hatfield, 2002). La présente étude a permis d'étendre ces résultats aux habiletés de préparation à répondre qui dépendent des paramètres temporels de la tâche. Les implications de cette étude seraient donc que maintenir un niveau élevé de condition physique pourrait aider les personnes âgées à mieux synchroniser une action dans le temps.

Cette première étude avait également pour but d'explorer les bénéfices de la condition cardiorespiratoire sur la performance à des tests neuropsychologiques qui sont fréquemment utilisés en clinique avec les personnes âgées. Les résultats ont montré des différences liées à l'âge dans l'attention, la vitesse psychomotrice, les fonctions exécutives et la mémoire. Toutefois, ces différences liées à l'âge n'étaient pas significativement modérées par le niveau de condition cardiorespiratoire des participants. Ces résultats semblent contraster avec les études transversales qui ont comparées les performances de participants âgés et jeunes présentant différents niveaux de condition physique. Une explication possible est que certaines de ces études ont comparé de jeunes adultes âgés entre 20 et 30 ans à des participants âgés de plus de 65 ans. Il est donc possible que l'effet significatif de l'âge entre 60 et 79 ans dans la présente étude n'ait pas été assez important pour être sensible à l'effet d'un facteur modérateur, tel que la condition physique. On constate toutefois que dans les études transversales décrites dans le chapitre 5, l'effet bénéfique de la condition physique sur les performances à des tests neuropsychologiques n'est peut-être pas aussi important que pour les tâches de temps de réaction.

Cette première étude procure un support supplémentaire aux données existantes qui ont montré que chez des personnes âgées, une bonne condition physique favorise le maintien de bonnes performances cognitives dans les tâches qui font appels aux fonctions exécutives et au contrôle attentionnel. En fait, les présents

résultats suggèrent que l'activité physique permet aux individus âgés en bonne santé de maintenir des processus de préparation efficace.

Toutefois, dans cette première étude, nous avons utilisé un devis transversal pour évaluer l'effet de la condition physique sur les performances dans une tâche de préparation à répondre et à des épreuves neuropsychologiques. Même si ce devis expérimental offre l'avantage d'une évaluation cognitive détaillée, ce qui est rarement réalisable dans les études longitudinales avec de grands groupes de participants, cela limite toutefois les conclusions que nous pouvons tirer des présents résultats. Les études transversales ne nous permettent pas d'établir une relation causale entre la condition physique et la santé cognitive des aînés. La relation observée pourrait simplement refléter une prédisposition chez les aînés qui connaissent un moindre déclin cognitif à s'engager dans différentes activités ou encore une prédisposition génétique des sujets en forme pour les réponses rapides et justes plutôt qu'un bénéfice de la condition aérobie provoqué par l'exercice. Les études d'intervention quant à elle permettent d'établir une relation directe de cause à effet entre la condition physique et la cognition.

Deuxième étude

La deuxième étude avait pour but d'examiner l'effet d'un programme d'exercice de trois mois sur le fonctionnement cognitif de personnes âgées entre 60 et 79 ans, en insistant particulièrement sur les aspects de contrôle exécutif du comportement cognitif qui avaient été ciblés dans la première étude, et en tenant compte du niveau de condition physique de base des participants.

Les résultats de cette deuxième étude supportent l'idée que des individus âgés sédentaires peuvent bénéficier d'un programme d'exercices physiques structurés après seulement trois mois. Le niveau de condition cardiorespiratoire

mesuré à l'aide du test de marche (Rockport one-mile, Kline et al., 1987) a permis de montrer que le programme a engendré une augmentation du niveau de condition cardiorespiratoire de plus de 25%. Cela suggère qu'entre 60 et 80 ans, s'engager dans un programme d'activité physique engendre des effets significatifs au niveau cardiorespiratoire.

Une question importante de l'étude concernait l'effet d'un entraînement physique sur les processus de préparation à répondre. Les résultats obtenus suggèrent que la préparation temporelle s'améliore après un entraînement physique. En effet, seulement les participants du groupe entraînement ont montré une amélioration de la préparation dans la fenêtre temporelle courte (1-5 secondes) de la tâche de TR au choix (seulement chez les aînés en moins bonne condition physique). Les réponses plus rapides des aînés entraînés dans la fenêtre longue de la tâche de TR au choix suggèrent également un meilleur maintien de la préparation. De plus, leur fonction préparatoire avait également tendance à être plus importante dans la fenêtre temporelle longue (5-9 secondes) dans la tâche de TR simple, suggérant une meilleure habileté à demeurer préparé avec le temps.

Cette deuxième étude avait également pour but d'évaluer les effets d'un programme d'entraînement physique sur une tâche de TR en prenant en considération la complexité de la tâche (simple versus au choix). Comme il a été soulevé dans le Chapitre 2, des études suggèrent que la condition physique devrait être associée à de meilleures performances à des tâches plus complexes, parce que ces tâches requièrent des processus cognitifs contrôlés (Hall et al., 2001). Les résultats obtenus dans cette étude vont dans ce sens. En effet, après un programme d'entraînement physique de trois mois, l'amélioration des temps d'initiation était globalement plus importante dans la tâche de TR au choix que dans la tâche de TR simple, suggérant qu'une tâche de vitesse qui met en branle des processus cognitifs de décision, montre une amélioration plus importante après l'entraînement.

Les résultats obtenus aux tests neuropsychologiques supportent également l'hypothèse que l'augmentation de la condition physique après un entraînement cardiorespiratoire engendre des bénéfices au niveau cognitif, avec une plus grande amélioration observable dans les tâches qui font appel au contrôle exécutif. Une amélioration après le programme d'entraînement physique a été observée à une tâche modifiée de Stroop. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Dustman et al. (1984) qui avaient également montré qu'un programme d'entraînement physique de quatre mois engendrait des bénéfices chez des sujets sédentaires âgés entre 55 et 77 ans, au test de Substitution de symboles et dans une version abrégée de la tâche de Stroop. Dans la présente étude, le fait de comparer les quatre conditions de la tâche modifiée du Stroop nous a permis d'observer que l'amélioration était spécifique aux conditions de la tâche qui impliquent les processus de contrôle exécutif, avec une plus grande amélioration à la condition de flexibilité qu'à la condition d'interférence, accompagnée d'une absence d'amélioration aux conditions non-exécutives (lecture et dénomination de couleur). De plus, les résultats à l'épreuve de la Tour de Londres supportent également la notion que le contrôle exécutif (i.e. planification) s'améliore chez des individus âgés après un programme d'entraînement physique.

Finalement, les résultats de cette deuxième étude suggèrent que le niveau de base de la condition physique des participants peut moduler les effets d'un programme d'entraînement physique sur la cognition. L'effet plus important du programme d'entraînement physique dans la tâche de TR au choix comparé à la tâche de TR simple (effet de complexité de la tâche) ne variait pas en fonction du niveau de base de la condition physique. Toutefois, le niveau de base de la condition physique a modulé les effets du programme d'entraînement physique sur la tâche de préparation. Dans la fenêtre temporelle courte de la TR au choix, une amélioration de la préparation à répondre a été observée seulement chez les individus présentant

une moins bonne condition physique, alors qu'une amélioration équivalente a été observée chez les deux groupes de condition physique dans la fenêtre temporelle longue. Il semble donc que les effets bénéfiques d'un programme d'entraînement physique de trois mois sur la cognition des aînés dépendent de la condition physique initiale des individus. Les implications pratiques de ces résultats pourraient être d'ajuster les programmes d'entraînement physique en fonction du niveau initial de condition physique des individus. À savoir si un programme d'entraînement plus vigoureux pour les participants présentant une meilleure condition physique pourrait engendrer des effets plus importants au niveau cognitif demeurent à élucider.

Apport de la thèse

Les résultats de ces deux études permettent de confirmer que chez les personnes âgées, le niveau de condition physique est associé aux performances cognitives. L'observation d'une différence significative entre les aînés plus actifs et moins actifs et les participants entraînés et du groupe contrôle constitue un appui supplémentaire à l'effet que la condition physique entraîne des bénéfices sur le plan du contrôle attentionnel. À la fois une bonne condition physique et l'augmentation de la capacité cardiorespiratoire suite à un programme d'entraînement physique, s'accompagnent chez les personnes âgées d'une meilleure capacité à maintenir un programme d'action en vue de répondre de façon optimale à l'arrivée d'un stimulus. Rappelons que Salthouse (1985) a proposé deux formes inefficaces de préparation dans le vieillissement normal: soit une incapacité à développer rapidement un état optimal de préparation et une inhabileté à maintenir la préparation pour une certaine période de temps. D'autres recherches ont également montrées que les déficits de préparation à répondre peuvent être observés chez des personnes âgées en raison d'une inhabileté à se préparer à des événements peu probables (Bherer & Belleville, 2004). La tâche de TR utilisée dans la présente thèse était conçue pour évaluer ces trois formes de déficits préparatoires.

Dans cette tâche un signal préparatoire indiquait au participant de se préparer à répondre rapidement à un stimulus pouvant apparaître après trois intervalles préparatoires (IP) de durée différente. Dans chacune des fenêtres temporelles les IP variaient aléatoirement et pouvaient être de 1, 3, ou 5 secondes dans la fenêtre temporelle courte ou de 5, 7, ou 9 secondes dans la fenêtre temporelle longue. Avec ce type de paradigme à IP variable, la préparation dépend de la probabilité de l'apparition du stimulus qui augmente avec le temps après la présentation du signal préparatoire. Cela produit une fonction préparatoire illustrée par le fait que le temps de réaction devient plus rapide à mesure que la durée de l'IP augmente à l'intérieur d'une fenêtre temporelle donnée, et cette fonction préparatoire est typiquement plus importante dans une tâche de TR simple plutôt qu'au choix puisque que la réponse spécifique requise dans la TR simple est connue à l'avance (Niemi & Näätänen, 1981).

Les résultats de cette thèse suggèrent des bénéfices de la condition physique en lien avec les trois hypothèses de déficits préparatoires chez les aînés énoncés plus haut. En fait, dans la première étude, une meilleure condition physique était associée, d'une part, à une meilleure capacité à développer rapidement un état optimal de préparation et, d'autre part, à une meilleure capacité à maintenir cette préparation pour une certaine période de temps. Dans la seconde étude, les résultats suggèrent qu'après un entraînement physique de trois mois, les participants du groupe entraînement montraient une meilleure utilisation de la probabilité d'apparition du stimulus pour répondre plus rapidement à la tâche, mais également un maintien de la préparation pour de plus long intervalles. De plus, les effets du programme d'entraînement physique étaient différents en fonction de la condition physique initiale des individus; les personnes âgées présentant une moins bonne condition physique au départ s'étant améliorées davantage que les aînés en meilleure forme physique. Il semble donc que les effets d'un programme d'exercice sur la

cognition des personnes âgées dépendent du niveau initial de condition physique cardiorespiratoire.

À notre connaissance, la deuxième étude de cette thèse est la première à montrer que la préparation à répondre peut être améliorée chez les personnes âgées après un programme d'entraînement physique. Ces résultats amènent un appui supplémentaire aux conclusions de Hillman et al., (2002) qui, dans une étude transversale, ont observé que des jeunes et des personnes âgées présentant une meilleure condition physique montraient une préparation à répondre plus efficace que des individus présentant une moins bonne forme physique à une tâche de TR. La présente thèse a permis d'étendre ces résultats aux habiletés de préparation à répondre qui dépendent des paramètres temporels de la tâche. En fait, les résultats rapportés dans cette thèse suggèrent que trois mois d'entraînement aérobie ont permis d'améliorer la préparation à répondre, et que cette amélioration varie selon le niveau de condition physique initiale de la personne.

Tel que soulevé dans le Chapitre 2, certains auteurs ont suggéré que la condition physique devrait permettre une meilleure performance dans les tâches plus complexes, puisque celles-ci sollicitent davantage de processus cognitifs contrôlés ou exécutifs. Hall, Smith & Keele (2001) ont d'ailleurs émis l'hypothèse que chez les personnes âgées, les tâches cognitivement plus complexes étant davantage touchées, elles devraient par le fait même s'améliorer davantage que les tâches plus simple, i.e. qu'on devrait observer un avantage plus marqué dans les tâches de type TR au choix plutôt que dans les tâches de TR simple en fonction du niveau d'activité physique de la personne. Toutefois, très peu d'études ont tenté de vérifier cette hypothèse en comparant les performances à une tâche de TR simple et une tâche de TR au choix. Les résultats de la deuxième étude présentés au Chapitre 4, ont montré une amélioration des temps d'initiation plus importante dans la tâche de TR au choix que dans la tâche de TR simple après un entraînement de trois mois. Ces résultats

suggèrent donc une amélioration plus importante après l'entraînement dans la tâche qui met en branle des processus cognitifs de décision et apportent un appui supplémentaire à l'hypothèse de Hall, Smith & Keele (2001).

Des études récentes suggèrent que les fonctions exécutives réfèrent à des processus relativement élémentaires qui contrôlent l'exécution des activités cognitives complexes. Ainsi, le fonctionnement exécutif pourrait être vu comme un ensemble de mécanismes élémentaires (activation, maintien, inhibition, etc.) supportés par des régions frontales distinctes (Stuss et al., 1995, 2002). Dans les deux études, la tâche de préparation à répondre ainsi que la batterie de tests cliniques normalisés auprès des personnes âgées et qui mettaient l'emphase sur des aspects spécifiques des fonctions exécutives nous a permis une investigation détaillée de différents mécanismes élémentaires. De plus, le fait d'avoir utilisé la même batterie de tests à la fois dans une étude transversale et dans une étude d'intervention nous permet de comparer directement les résultats entre les études. Les résultats de la deuxième étude suggèrent que la préparation, l'inhibition et la flexibilité sont les mécanismes qui ont le plus bénéficié du programme d'entraînement physique. Ces mécanismes font tous appel au contrôle attentionnel. Les résultats de la première étude ont montré des différences liées à l'âge dans la majorité des mesures utilisées, mais qui n'étaient pas significativement modérées par le niveau de condition cardiorespiratoire des participants. Toutefois, les résultats de cette première étude suggèrent un bénéfice de la condition physique sur la préparation. Il est donc permis de croire que les mécanismes de contrôle attentionnel seraient ceux qui bénéficient le plus d'une bonne condition physique. Les présents résultats apportent un appui supplémentaire à la notion que la condition physique engendre des bénéfices significatifs sur les mécanismes qui sont le plus affectés par le vieillissement normal (Bherer, Belleville et Hudon, 2004).

Un autre apport des présents travaux concerne la prise en considération du niveau de base de la condition physique des participants avant le début du programme d'entraînement physique dans la deuxième étude. Les études antérieures n'ont jamais tenu compte de ce paramètre, alors que dans une récente méta-analyse, Etnier, Nowell, Landers, & Sibley (2006) suggèrent que la relation entre la condition physique et la cognition diffère en fonction de plusieurs facteurs, dont l'état de santé des participants. Les résultats de la deuxième étude abondent dans ce sens alors que les effets du programme d'entraînement étaient différents en fonction du niveau de condition physique des participants, une plus grande amélioration ayant été observée chez les personnes âgées présentant une moins bonne condition physique au départ. Il demeure toutefois possible que notre programme d'entraînement physique n'ait pas été assez vigoureux pour engendrer des bénéfices comparables chez les participants présentant une meilleure condition physique au départ. Des études futures sont nécessaires pour clarifier la potentielle interaction entre le niveau de condition physique de base et l'intensité d'un programme d'exercices physiques sur la condition physique des personnes âgées.

Certaines études ont également suggéré que l'entraînement physique pourrait engendrer des bénéfices sur les performances à des tâches de mémoire (Erickson et al., 2009; Fabre, Chamari, Mucci, Masse-Biron, & Prefaut, 2002; Fabre et al., 1999). Toutefois, les résultats de cette thèse n'ont pas permis de confirmer ces conclusions puisque que nous n'avons pas observé de différence en fonction de la condition physique ou de changements après l'entraînement aux tâches de mémoire verbale.

Cette thèse apporte un appui additionnel à la notion que la condition cardiorespiratoire offre une protection contre les déclinis cognitifs reliés à l'âge (voir Kramer, & Erickson, 2007; Hillman, Erickson, & Kramer, 2008, pour des revues récentes). Les évidences provenant des études animales suggèrent qu'un exercice prolongé a des conséquences significatives, à long terme, sur les comportements et

la plasticité neuronale. Chez le rat, une période prolongée d'exercices a été associée à une élévation du BDNF (*Brain Derived Neurotrophic Factor*, Russo-Neustadt et al., 2001), à une augmentation de la densité capillaire dans le cervelet (Black et al., 1990), et à une augmentation de la capture de choline au niveau cortical (Fordyce & Farrar, 1991). Sur le plan comportemental, certaines études ont rapporté que les animaux qui participent à un régime d'exercice prolongé démontrent une performance significativement meilleure sur une variété de tâches d'apprentissage spatial, qui ne peut être attribué simplement à l'augmentation de la force musculaire ou de l'endurance (Fordyce & Farrar, 1991; Fordyce & Wehner, 1993; Anderson et al., 2000). Chez l'humain, même si les effets de la condition physique sur les structures du cerveau restent à élucider, les preuves provenant des études de neuroimagerie apportent un support additionnel pour les bénéfices de l'entraînement physique sur la cognition dans le vieillissement normal, et peuvent aider à expliquer pourquoi les fonctions de contrôle exécutif sont celles qui bénéficient le plus d'un entraînement physique. Des études récentes utilisant l'approche par morphométrie basée-voxel (*voxel-based morphometric*) qui permet une analyse détaillée des images du cerveau à haute résolution, montrent qu'une meilleure condition cardiorespiratoire ($VO_2\text{max}$) est associée avec une réduction des pertes de la substance grise et de la substance blanche dans les régions frontales, préfrontales et temporales chez les personnes âgées. De plus, il a été démontré que l'augmentation de la fonction cardiorespiratoire est associée avec une plus grande activité en lien avec la tâche dans les régions du cerveau recrutées lors de tâches de contrôle attentionnel. (Colcombe et al., 2006; Colcombe, Kramer, Erickson et al., 2004; Colcombe, Kramer, McAuley, Erickson, & Scalf, 2004). Par conséquent, la condition cardiorespiratoire a un effet significatif sur les régions corticales qui sont fortement associées à l'intégrité des processus de contrôle attentionnel qui sont nécessaires dans les épreuves neuropsychologiques (Lezak, Howieson, & Loring, 2004) et dans la tâche de préparation à répondre (Stuss et al., 1995) utilisée dans la présente thèse.

Implications cliniques

L'activité physique peut influencer la cognition directement en affectant les structures et fonctions du cerveau et indirectement en affectant d'autres facteurs qui sont également reconnus pour avoir un impact sur les structures et fonctions du cerveau. Parmi ces facteurs, nous retrouvons notamment le sommeil, l'hypertension, la réduction de l'anxiété et de la dépression, la réduction du stress, etc. Par exemple, des études suggèrent que l'exercice physique peut être aussi efficace que les antidépresseurs pour traiter la dépression et pour réduire les chances de rechute dans la population âgée (Babyak et al., 2000). Des études épidémiologiques suggèrent également que la pratique régulière de l'activité physique est associée avec une meilleure qualité du sommeil auto-rapportée (Driver & Taylor, 2000). Nous savons que ces différents facteurs peuvent entraîner des déficits cognitifs de nature variable. Même s'il est clair que l'activité physique, la cognition et ces facteurs sont individuellement reliés les uns aux autres, peu d'études jusqu'à maintenant ont tenté d'intégrer ces paradigmes. Même si ces différents facteurs n'ont pas fait l'objet d'une étude approfondit dans la présente thèse, à titre exploratoire, nous avons constaté que les individus qui rapportaient un problème de sommeil avant le programme d'entraînement physique, disaient dormir beaucoup mieux après le programme (Langlois, Renaud, Bherer, Maquestiaux, & Carrier, 2006). De plus, nous avons pu observer qu'une meilleure condition physique et/ou la rupture avec la sédentarité s'accompagnaient d'un sentiment de bien-être et d'une amélioration subjective de la qualité de vie chez plusieurs participants.

Les résultats de cette thèse sont aussi intéressants en regard aux observations selon lesquelles même un niveau modeste d'exercice physique est associé avec un délai de l'apparition d'une démence ou de la maladie d'Alzheimer (Abbott et al., 2004; Larson et al., 2006; Laurin, Verreault, Lindsay, MacPherson, & Rockwood,

2001; Weuve et al., 2004). Les changements au niveau des fonctions exécutives, de la mémoire et des fonctions visuo-spatiales sont typiquement les premiers signes observés dans la maladie d'Alzheimer, et des études récentes ont suggéré que la pathologie frontale et par extension les déficits de contrôle exécutif pourrait eux aussi faire partie du tableau clinique de la démence. Les déficits de contrôle exécutif pourraient également prédire le comportement et les handicaps fonctionnels indépendamment des déficits dans les domaines cognitifs traditionnels, tel que la mémoire (Chen, Sultzer, Hinkin, Mahler, & Cummings, 1998; Royall, 2000).

Recherches futures

Les fonctions de contrôle exécutif sont essentielles à l'autonomie humaine et l'activité physique pourrait être utilisée comme un outil d'intervention pour atténuer le déclin cognitif. De plus, l'exercice est un moyen relativement peu coûteux, accessible et facile à débiter à tous âges. Toutefois, une importante question qui demeure à élucider concerne les bénéfices d'un entraînement physique dans les activités de la vie quotidienne chez les personnes âgées. Plusieurs tâches effectuées durant la journée, tel que la conduite automobile, font appel au contrôle exécutif. En effet, la tâche de préparation à répondre utilisée dans cette thèse utilisant un design d'IP variable semble refléter les demandes du quotidien, étant donné que nous avons souvent à produire des réponses rapides (e.g., s'arrêter à une intersection lorsque des piétons traversent la rue). Des études futures sont nécessaires pour évaluer jusqu'à quel point les effets de l'entraînement physique sur la cognition s'appliquent aux situations du quotidien.

De plus, des études futures s'intéressant aux personnes âgées très sédentaires ou présentant certaines limites fonctionnelles, permettront de mieux comprendre la relation entre l'activité physique et la cognition chez les personnes âgées et de s'assurer que les résultats rapportés dans la plupart des études sont généralisables à

l'ensemble de cette population. Ces études nous permettront également d'évaluer si l'activité physique constitue un mode d'intervention prometteur qui peut réellement répondre aux besoins de la population vieillissante. De telles connaissances pourraient s'avérer importantes pour établir les bases scientifiques de programmes efficaces de prévention et d'intervention favorisant le développement et le maintien de la vitalité cognitive des personnes âgées.

CONCLUSION

Les données de cette thèse ont permis d'établir qu'une bonne condition physique acquise au fil du temps, ainsi que la participation à un programme d'exercices physiques pendant trois mois entraînent des bénéfices cognitifs significatifs. Plus spécifiquement, dans la première étude, nous avons montré qu'une meilleure condition physique est associée à de meilleures capacités à développer rapidement un état préparatoire optimal et à maintenir un niveau de préparation plus élevé pour de plus longues périodes de temps. Dans la deuxième étude, les résultats obtenus suggèrent qu'il est également possible d'améliorer la préparation après un programme d'exercices physique de trois mois. De plus, dans la deuxième étude, l'augmentation de la capacité cardiorespiratoire a également engendré une nette amélioration de la performance dans une tâche faisant appel à l'inhibition et la flexibilité attentionnelle. Les résultats des deux études suggèrent que les mécanismes de contrôle attentionnel sont sensibles au niveau de condition physique des individus âgés.

Nous avons établi dans l'Introduction le caractère impératif de l'étude des modérateurs du vieillissement étant donné les changements démographiques actuels que notre société connaît. L'activité physique représente un champ d'investigation des plus intéressants, car sa pratique régulière permet non seulement de retarder ou de ralentir certains processus néfastes liés au vieillissement, mais aussi d'améliorer la qualité de vie des aînés et de retarder la perte d'autonomie.

RÉFÉRENCES

- Abbott, R. D., White, L. R., Ross, G. W., Masaki, K. H., Curb, J. D., & Petrovitch, H. (2004). Walking and dementia in physically capable elderly men. *JAMA*, *292*(12), 1447-1453.
- Abourezk, T., & Toole, T. (1995). Effect of task complexity on the relationship between physical fitness and reaction time in older women. *Journal of Aging and Physical Activity*, *3*, 251-260.
- Anderson, B. J., Rapp, D. N., Baek, D. H., McCloskey, D. P., Coburn-Litvak, P. S., & Robinson, J. K. (2000). Exercise influences spatial learning in the radial arm maze. *Physiology of Behavior*, *70*(5), 425-429.
- Babyak, M., Blumenthal, J. A., Herman, S., Khatri, P., Doraiswamy, M., Moore, K., et al. (2000). Exercise treatment for major depression: maintenance of therapeutic benefit at 10 months. *Psychosomatic Medicine*, *62*(5), 633-638.
- Barnes, D. E., Yaffe, K., Satariano, W. A., & Tager, I. B. (2003). A longitudinal study of cardiorespiratory fitness and cognitive function in healthy older adults. *Journal of the American Geriatric Society*, *51*(4), 459-465.
- Bherer, L., & Belleville, S. (2004). Age-related differences in response preparation: the role of time uncertainty. *The Journals of Gerontology B Psychological Sciences & Social Sciences*, *59*(2), P66-74.
- Bherer, L., Belleville, S., & Hudon, C. (2004). [Executive function deficits in normal aging, Alzheimer's disease, and frontotemporal dementia]. *Psychologie & Neuropsychiatrie du Vieillissement*, *2*(3), 181-189.
- Bixby, W. R., Spalding, T. W., Haufler, A. J., Deeny, S. P., Mahlow, P. T., Zimmerman, J. B., et al. (2007). The unique relation of physical activity to executive function in older men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *39*(8), 1408-1416.
- Black, J. E., Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A., & Greenough, W. T. (1990). Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *87*(14), 5568-5572.
- Blumenthal, J. A., Emery, C. F., Madden, D. J., George, L. K., Coleman, R. E., Riddle, M. W., et al. (1989). Cardiovascular and behavioral effects of aerobic

- exercise training in healthy older men and women. *Journal of Gerontology*, 44(5), M147-157.
- Bohnen, N., Twijnstra, A., & Jolles, J. (1992). Performance in the Stroop color word test in relationship to the persistence of symptoms following mild head injury. *Acta Neurologica Scandinavica*, 85(2), 116-121.
- Chatelois, J., Van Der Linden, M., Rouleau, N., De Courcy, R., Crépeau, F., & Malenfant, A. (1996). Stroop Flexibilité-4 couleurs. (*unpublished data*).
- Chen, S. T., Sultzer, D. L., Hinkin, C. H., Mahler, M. E., & Cummings, J. L. (1998). Executive dysfunction in Alzheimer's disease: association with neuropsychiatric symptoms and functional impairment. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 10(4), 426-432.
- Clarkson-Smith, L., & Hartley, A. A. (1989). Relationships between physical exercise and cognitive abilities in older adults. *Psychology & Aging*, 4(2), 183-189.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scalf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E., et al. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *The Journals of Gerontology A Biological Sciences & Medical Sciences*, 61(11), 1166-1170.
- Colcombe, S. J., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, 14(2), 125-130.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., et al. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 101(9), 3316-3321.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., McAuley, E., Erickson, K. I., & Scalf, P. (2004). Neurocognitive aging and cardiovascular fitness: recent findings and future directions. *Journal of Molecular Neuroscience*, 24(1), 9-14.
- Driver, H. S., & Taylor, S. R. (2000). Exercise and sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 4(4), 387-402.
- Dustman, R. E., Emmerson, R. Y., Ruhling, R. O., Shearer, D. E., Steinhaus, L. A., Johnson, S. C., et al. (1990). Age and fitness effects on EEG, ERPs, visual sensitivity, and cognition. *Neurobiology of Aging*, 11(3), 193-200.

- Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, H. W., Shigeoka, J. W., et al. (1984). Aerobic exercise training and improved neuropsychological function of older individuals. *Neurobiology of Aging*, 5(1), 35-42.
- Emery, C. F., & Gatz, M. (1990). Psychological and cognitive effects of an exercise program for community-residing older adults. *Gerontologist*, 30(2), 184-188.
- Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., Chaddock, L., Hu, L., Morris, K. S., et al. (2009). Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*.
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, 52(1), 119-130.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The Influence of Physical Fitness and exercise upon Cognitive Functioning: A meta-Analysis. *Journal of Sport and exercise Psychology*, 19, 249-277.
- Fabre, C., Chamari, K., Mucci, P., Masse-Biron, J., & Prefaut, C. (2002). Improvement of cognitive function by mental and/or individualized aerobic training in healthy elderly subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 23(6), 415-421.
- Fabre, C., Masse-Biron, J., Chamari, K., Varray, A., Mucci, P., & Prefaut, C. (1999). Evaluation of quality of life in elderly healthy subjects after aerobic and/or mental training. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 28(1), 9-22.
- Fordyce, D. E., & Farrar, R. P. (1991). Physical activity effects on hippocampal and parietal cortical cholinergic function and spatial learning in F344 rats. *Behavior and Brain Research*, 43(2), 115-123.
- Fordyce, D. E., & Wehner, J. M. (1993). Physical activity enhances spatial learning performance with an associated alteration in hippocampal protein kinase C activity in C57BL/6 and DBA/2 mice. *Brain Research*, 619(1-2), 111-119.
- Godefroy, O., Jeannerod, M., Allain, P., & Le Gall, D. (2008). Lobe frontal, fonctions executives et contrôle cognitif. *Revue Neurologique*, 164, S119, S127.

- Hall, C. D., Smith, A. L., & Keele, S. W. (2001). The impact of aerobic on cognitive function in older adults: A new synthesis based on the concept of executive control. *European Journal of Cognitive Psychology*, *13*, 279-300.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews in Neuroscience*, *9*(1), 58-65.
- Hillman, C. H., Weiss, E. P., Hagberg, J. M., & Hatfield, B. D. (2002). The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. *Psychophysiology*, *39*(3), 303-312.
- Hogan, S. (2001). Le vieillissement, les finances et le système de santé. *Santé Canada. Bulletin de recherche sur les politiques de santé.*, *1*(1), 5-8.
- Kline, G. M., Porcari, J. P., Hintermeister, R., Freedson, P. S., Ward, A., McCarron, R. F., et al. (1987). Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Medicine & Sciences in Sports & Exercises*, *19*(3), 253-259.
- Kramer, A. F., Bherer, L., Colcombe, S. J., Dong, W., & Greenough, W. T. (2004). Environmental influences on cognitive and brain plasticity during aging. *The Journals of Gerontology A Biological Sciences & Medical Sciences*, *59*(9), M940-957.
- Kramer, A. F., & Erickson, K. I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends in Cognitive Science*, *11*(8), 342-348.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., et al. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, *400*(6743), 418-419.
- Kramer, A. F., Hahn, S., McAuley, E., Cohen, N. J., Banich, M. T., Harrison, C. R., et al. (2001). Exercise, Aging and Cognition: Healthy Body, Healthy Mind? In A. D. Fisk & W. Rogers (Eds.), *Human Factors Interventions for the Health care of Older Adults* (pp. 91-119.). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Langlois, F., Renaud, M., Bherer, L., Maquestiaux, F. & Carrier, J. (2006) Impact de l'entraînement physique sur la qualité du sommeil chez les aînés. *Société Québécoise pour la recherche en psychologie (SQRP)* (Montréal, Canada)

- Larson, E. B., Wang, L., Bowen, J. D., McCormick, W. C., Teri, L., Crane, P., et al. (2006). Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. *Annals of Internal Medicine*, 144(2), 73-81.
- Lahtela, K., Niemi, P., Kuusela, V., 1985. Adult visual choice-reaction time, age, sex and preparedness. A test of Welford's problem in a large population sample. *Scandinavian Journal of Psychology*, 26, 357-362.
- Laurin, D., Verreault, R., Lindsay, J., MacPherson, K., & Rockwood, K. (2001). Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons. *Archives of Neurology*, 58(3), 498-504.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., & Loring, D. W. (2004). *Neuropsychological assessment (4th Edition)*. New York: Oxford University Press.
- Lupinacci, N. S., Rikli, R. E., Jones, C. J., & Ross, D. (1993). Age and physical activity effects on reaction time and digit symbol substitution performance in cognitively active adults. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 64(2), 144-150.
- Madden, D. J., Blumenthal, J. A., Allen, P. A., & Emery, C. F. (1989). Improving aerobic capacity in healthy older adults does not necessarily lead to improved cognitive performance. *Psychology & Aging*, 4(3), 307-320.
- Moul, J. A., Goldman, B., & Warren, B. (1995). Physical Activity and Cognitive Performance in the Older Population. *Journal of Aging and Physical Activity*, 3, 135-145.
- Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). Foreperiod and Simple Reaction Time. *Psychological Bulletin*, 89(1), 133-162.
- Raz, N. (2000). Aging of the Brain and Its Impact on Cognitive Performance : Integration of Structural and Functional Findings. In F. I. M. Craik, & Salthouse, T.A. (Ed.), *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 1-90). New Jersey :: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rikli, R. E., & Edwards, D. J. (1991). Effects of a three-year exercise program on motor function and cognitive processing speed in older women. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 62(1), 61-67.
- Royall, D. R. (2000). Executive cognitive impairment: a novel perspective on dementia. *Neuroepidemiology*, 19(6), 293-299.

- Royall, D. R., Lauterbach, E. C., Cummings, J. L., Reeve, A., Rumans, T. A., Kaufer, D. I., et al. (2002). Executive control function: a review of its promise and challenges for clinical research. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, *14*, 377-405.
- Russo-Neustadt, A., Ha, T., Ramirez, R., & Kesslak, J. P. (2001). Physical activity-antidepressant treatment combination: impact on brain-derived neurotrophic factor and behavior in an animal model. *Behavior and Brain Research*, *120*(1), 87-95.
- Salthouse, T. A. (1985). Speed of behavior and its implications for cognition. In J. E. Birren, & Schaie, K.W. (Ed.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 400-426). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Spiriduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *Journal of Gerontology*, *30*(4), 435-440.
- Stuss, D. T., Alexander, M. P., Shallice, T., Picton, T. W., Binns, M. A., Macdonald, R., et al. (2005). Multiple frontal systems controlling response speed. *Neuropsychologia*, *43*(3), 396-417.
- Stuss, D. T. & Binns, M. A., Murphy, K. J., & Alexander, M. P. (2002) Dissociations within the anterior attentional system: Effects of task complexity and irrelevant information on reaction time speed and accuracy. *Neuropsychology*, *16*, 500-513.
- Stuss, D. T., Shallice, T., Alexander, M. P., & Picton, T. W. (1995). A Multidisciplinary Approach to Anterior Attentional Functions In J. Grafman, Holyoak, K. J., & Boller F. (Ed.), (pp. 191-211).
- van Boxtel, M. P., Langerak, K., Houx, P. J., & Jolles, J. (1996). Self-reported physical activity, subjective health, and cognitive performance in older adults. *Experimental Aging Research*, *22*(4), 363-379.
- van Boxtel, M. P., Paas, F. G., Houx, P. J., Adam, J. J., Teeken, J. C., & Jolles, J. (1997). Aerobic capacity and cognitive performance in a cross-sectional aging study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *29*(10), 1357-1365.
- Van der Linden, M., & the GREMEM members (2004). *L'évaluation des troubles de la m'emoire: Présentation de quatre tests de mémoire épisodique (avec leur étalonnage)*. Marseille: Solal.

Weuve, J., Kang, J. H., Manson, J. E., Breteler, M. M., Ware, J. H., & Grodstein, F. (2004). Physical activity, including walking, and cognitive function in older women. *JAMA*, 292(12), 1454-1461.

ANNEXES

ANNEXE 1

Tableau de corrélations des résultats de l'étude 1 présentée au Chapitre 3

Tableau de corrélations entre le VO₂max et les épreuves neuropsychologiques

	VO ₂ max	<i>p</i>
Substitution	0,205	*
Trail		
Partie A	-0,139	
Partie B	-0,224	*
Stroop		
Lecture	-0,295	**
Dénomination	-0,265	**
Interférence	-0,249	**
Flexibilité	-0,215	*
Tour de Londres		
3 mouvements		
Nombre de mouvements	0,081	
Temps de planification	-0,121	
Temps total	-0,034	
5 mouvements		
Nombre de mouvements	-0,140	
Temps de planification	-0,029	
Temps total	-0,204	*
Fluidité	0,245	**
RL/RI-16 Test		
Rappel libre (somme des essais 1, 2 et 3)	0,157	
Rappel différé	0,140	
Alpha Span		
Empan	0,256	**
Rappel libre	0,035	
Rappel alphabétique	0,020	

p* < .05*p* < .01

Tableau de corrélations entre le VO₂max et les IP

	VO ₂ max	<i>p</i>
Tâche de TR simple		
Durée courte		
1 ^{er} IP	-0,262	**
2 ^e IP	-0,126	
3 ^e IP	-0,167	
Durée longue		
1 ^{er} IP	-0,196	*
2 ^e IP	-0,201	*
3 ^e IP	-0,167	
Tâche de TR au choix		
Durée courte		
1 ^{er} IP	-0,249	**
2 ^e IP	-0,192	*
3 ^e IP	-0,196	*
Durée longue		
1 ^{er} IP	-0,224	*
2 ^e IP	-0,219	*
3 ^e IP	-0,207	*

**p* < .05
***p* < .01

ANNEXE 2

Résultats détaillés à la tâche de préparation à répondre de la première étude
présentée au Chapitre 3

Moyennes et écarts types (entre parenthèses) des temps d'initiation à la tâche de préparation à répondre chez le groupe en moins bonne forme physique et le groupe en meilleure forme physique en fonction du groupe d'âge.

	Groupe en moins bonne forme		Groupe en meilleure forme	
	60-69	70-79	60-69	70-79
Tâche de TR simple				
Fenêtre de durée courte				
1 ^{er} IP (1 s)	459.61 (128.76)	506.10 (116.07)	426.65 (89.68)	457.89 (74.62)
2 ^e IP (3 s)	310.62 (69.17)	327.92 (70.87)	300.56 (61.26)	317.14 (47.09)
3 ^e IP (5 s)	293.81 (60.10)	324.13 (62.57)	280.59 (34.28)	304.49 (38.44)
Fenêtre de durée longue				
1 ^{er} IP (5 s)	360.89 (52.59)	393.00 (102.87)	345.61 (63.00)	380.40 (69.56)
2 ^e IP (7 s)	337.73 (67.24)	360.38 (73.67)	311.28 (53.21)	345.38 (65.49)
3 ^e IP (9 s)	338.05 (64.18)	349.35 (62.71)	307.91 (52.12)	331.39 (59.88)
Tâche de TR au choix				
Fenêtre de durée courte				
1 ^{er} IP (1 s)	468.49 (158.13)	510.66 (128.94)	426.12 (66.84)	461.34 (59.88)
2 ^e IP (3 s)	367.52 (87.92)	416.64 (95.58)	353.67 (58.30)	399.26 (41.69)
3 ^e IP (5 s)	359.27 (87.77)	416.86 (106.83)	346.52 (56.60)	384.11 (52.03)
Fenêtre de durée longue				
1 ^{er} IP (5 s)	430.93 (95.64)	479.49 (110.01)	411.74 (57.27)	454.90 (73.37)
2 ^e IP (7 s)	405.56 (87.38)	456.03 (121.30)	384.67 (66.77)	429.22 (68.58)
3 ^e IP (9 s)	393.05 (81.89)	452.32 (122.17)	373.14 (57.92)	418.77 (67.16)

Moyennes et écarts types (entre parenthèses) des temps d'exécution à la tâche de préparation à répondre chez le groupe en moins bonne forme physique et le groupe en meilleure forme physique en fonction du groupe d'âge.

	Groupe en moins bonne forme		Groupe en meilleure forme	
	60-69	70-79	60-69	70-79
Tâche de TR simple				
Fenêtre de durée courte				
1 ^{er} IP (1 s)	214.85 (91.65)	256.25 (107.95)	196.52 (62.96)	171.29 (70.91)
2 ^e IP (3 s)	226.92 (101.09)	319.69 (282.52)	231.99 (152.24)	185.72 (62.62)
3 ^e IP (5 s)	225.43 (102.83)	278.43 (111.04)	213.77 (81.54)	177.48 (70.23)
Fenêtre de durée longue				
1 ^{er} IP (5 s)	298.85 (150.14)	308.10 (132.40)	223.72 (81.15)	277.30 (313.46)
2 ^e IP (7 s)	313.74 (158.61)	329.18 (160.71)	223.47 (127.21)	200.16 (102.56)
3 ^e IP (9 s)	287.90 (113.27)	302.34 (129.40)	220.43 (94.41)	207.90 (92.44)
Tâche de TR au choix				
Fenêtre de durée courte				
1 ^{er} IP (1 s)	275.80 (112.60)	328.74 (133.85)	232.18 (76.54)	234.74 (165.35)
2 ^e IP (3 s)	323.62 (157.26)	350.88 (115.07)	260.69 (76.51)	223.61 (72.55)
3 ^e IP (5 s)	312.59 (138.37)	356.00 (113.83)	259.86 (82.99)	275.31 (180.04)
Fenêtre de durée longue				
1 ^{er} IP (5 s)	338.91 (149.81)	370.98 (116.81)	258.07 (85.75)	260.76 (82.31)
2 ^e IP (7 s)	356.22 (168.59)	381.90 (112.91)	270.15 (85.09)	256.84 (81.85)
3 ^e IP (9 s)	365.56 (188.79)	383.50 (118.00)	275.35 (91.32)	271.93 (96.35)

Moyennes et écarts types (entre parenthèses) des taux d'erreurs à la tâche de préparation à répondre chez le groupe en moins bonne forme physique et le groupe en meilleure forme physique en fonction du groupe d'âge.

	Groupe en moins bonne forme		Groupe en meilleure forme	
	60-69	70-79	60-69	70-79
Erreurs d'anticipation				
Tâche de TR simple				
Fenêtre de durée courte	0.05 (0.06)	0.08 (0.07)	0.02 (0.03)	0.10 (0.10)
Fenêtre de durée longue	0.04 (0.04)	0.07 (0.08)	0.05 (0.06)	0.09 (0.09)
Tâche de TR au choix				
Fenêtre de durée courte	0.03 (0.03)	0.06 (0.05)	0.04 (0.04)	0.06 (0.05)
Fenêtre de durée longue	0.03 (0.04)	0.04 (0.04)	0.03 (0.03)	0.08 (0.06)
Mauvaises réponses				
Fenêtre de durée courte	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
Fenêtre de durée longue	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.01 (0.01)

ANNEXE 3

Résultats détaillés à la tâche de préparation à répondre de la deuxième étude présentée
au Chapitre 4 .

Moyennes et écarts types (entre parenthèses) des temps d'initiation à la tâche de préparation à répondre chez le groupe contrôle et le groupe d'entraînement en fonction du niveau de base de la condition physique.

	Groupe Contrôle				Groupe Entraînement			
	Moins en forme		Plus en forme		Moins en forme		Plus en forme	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Tâche de TR simple								
Fenêtre de durée courte								
1 ^{er} IP (1 s)	460.92 (119.66)	417.10 (98.04)	439.82 (75.63)	409.37 (80.92)	529.97 (112.11)	452.87 (161.17)	411.82 (91.71)	393.43 (58.96)
2 ^e IP (3 s)	311.13 (60.37)	291.63 (47.59)	282.23 (40.82)	288.67 (42.67)	310.92 (55.34)	281.34 (37.82)	293.57 (39.05)	275.50 (35.92)
3 ^e IP (5 s)	301.61 (48.17)	298.79 (59.69)	263.13 (31.68)	279.41 (38.01)	300.23 (49.86)	287.28 (43.24)	283.97 (33.82)	271.42 (29.55)
Fenêtre de durée longue								
1 ^{er} IP (5 s)	385.10 (51.98)	376.34 (61.36)	360.31 (65.57)	374.04 (72.29)	361.71 (68.25)	353.48 (87.88)	340.18 (62.53)	349.12 (59.26)
2 ^e IP (7 s)	348.62 (64.81)	335.18 (48.65)	292.18 (47.63)	320.74 (41.60)	330.59 (64.38)	302.78 (53.17)	323.20 (62.12)	323.98 (80.24)
3 ^e IP (9 s)	340.27 (48.83)	351.33 (57.90)	298.13 (31.46)	317.56 (50.26)	322.39 (60.50)	293.30 (47.01)	317.31 (70.69)	304.55 (54.12)
Tâche de TR au choix								
Fenêtre de durée courte								
1 ^{er} IP (1 s)	468.47 (76.89)	443.59 (55.75)	399.69 (41.53)	448.28 (55.67)	473.01 (86.66)	426.82 (63.14)	403.76 (72.72)	384.06 (56.45)
2 ^e IP (3 s)	381.48 (57.59)	384.71 (42.76)	326.85 (51.21)	357.29 (54.69)	390.23 (87.87)	334.65 (56.86)	337.13 (49.15)	329.00 (40.53)
3 ^e IP (5 s)	375.05 (59.72)	375.44 (47.05)	322.88 (49.00)	348.98 (51.59)	393.11 (93.01)	334.55 (67.31)	333.01 (54.32)	318.64 (44.27)
Fenêtre de durée longue								
1 ^{er} IP (5 s)	440.88 (54.87)	436.82 (48.09)	416.28 (90.71)	433.81 (52.07)	463.84 (74.72)	405.51 (106.17)	389.14 (48.48)	371.24 (64.66)
2 ^e IP (7 s)	431.57 (52.30)	407.09 (45.10)	384.71 (84.86)	402.17 (57.17)	422.40 (73.44)	365.80 (72.00)	364.86 (51.30)	354.28 (56.40)
3 ^e IP (9 s)	404.74 (56.77)	425.36 (74.13)	379.30 (80.85)	395.17 (51.90)	418.55 (68.62)	366.29 (62.67)	354.68 (48.30)	340.93 (52.41)

Moyenne et écarts types (entre parenthèse) des temps d'exécution à la tâche de préparation à répondre chez le groupe contrôle et le groupe d'entraînement en fonction du niveau de base de la condition physique.

	Groupe Contrôle				Groupe Entraînement			
	Moins en forme		Plus en forme		Moins en forme		Plus en forme	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Tâche de TR simple								
Fenêtre de durée courte								
1 ^{er} IP (1 s)	242.37 (67.41)	210.37 (50.32)	193.78 (70.87)	187.82 (57.46)	218.44 (118.85)	179.51 (62.33)	173.04 (66.24)	175.48 (75.27)
2 ^e IP (3 s)	289.18 (130.85)	231.54 (69.04)	217.21 (96.08)	219.92 (96.81)	201.40 (83.87)	176.64 (86.94)	183.20 (78.01)	177.73 (69.80)
3 ^e IP (5 s)	263.11 (75.79)	239.58 (75.53)	221.66 (109.84)	236.88 (89.01)	228.41 (114.30)	200.19 (102.10)	188.01 (69.25)	171.78 (65.33)
Fenêtre de durée longue								
1 ^{er} IP (5 s)	297.81 (107.81)	282.26 (87.51)	231.45 (102.42)	275.56 (120.27)	246.44 (110.69)	217.13 (87.40)	236.51 (103.50)	216.54 (85.62)
2 ^e IP (7 s)	339.36 (136.71)	297.78 (89.94)	238.21 (116.09)	284.26 (133.24)	252.95 (119.66)	225.73 (97.58)	224.11 (109.19)	216.28 (90.68)
3 ^e IP (9 s)	303.47 (100.87)	301.20 (100.14)	243.83 (112.41)	288.28 (146.00)	254.92 (116.41)	246.42 (93.33)	249.31 (124.89)	214.59 (93.85)
Tâche de TR au choix								
Fenêtre de durée courte								
1 ^{er} IP (1 s)	288.81 (102.87)	264.26 (73.20)	241.22 (70.89)	241.49 (80.69)	289.23 (103.31)	258.44 (79.52)	223.57 (85.94)	199.08 (67.91)
2 ^e IP (3 s)	325.33 (104.02)	293.83 (96.60)	261.23 (75.68)	274.30 (114.24)	319.40 (108.88)	286.79 (106.55)	239.55 (85.10)	231.78 (91.68)
3 ^e IP (5 s)	322.05 (100.45)	303.32 (87.25)	285.23 (93.21)	286.72 (104.35)	319.94 (116.66)	289.19 (104.73)	236.49 (95.30)	238.28 (91.42)
Fenêtre de durée longue								
1 ^{er} IP (5 s)	351.12 (125.58)	329.94 (92.90)	288.30 (74.60)	327.16 (130.07)	349.79 (147.62)	284.92 (71.91)	254.24 (111.31)	247.26 (98.67)
2 ^e IP (7 s)	353.60 (128.45)	328.26 (87.37)	302.53 (83.36)	325.77 (111.98)	361.40 (138.80)	312.42 (100.86)	257.64 (108.40)	245.21 (93.55)
3 ^e IP (9 s)	358.70 (122.36)	336.34 (98.06)	300.20 (87.36)	333.87 (133.78)	349.99 (133.23)	286.27 (91.39)	266.21 (122.07)	284.16 (123.01)

Moyenne et écarts types (entre parenthèses) des taux d'erreurs à la tâche de préparation à répondre chez le groupe contrôle et le groupe d'entraînement en fonction du niveau de base de la condition physique.

	Groupe Contrôle				Groupe Entraînement			
	Moins en forme		Plus en forme		Moins en forme		Plus en forme	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Erreurs d'anticipation								
Tâche de TR simple								
Fenêtre de durée courte	0.06 (0.06)	0.03 (0.03)	0.02 (0.03)	0.16 (0.46)	0.05 (0.04)	0.06 (0.06)	0.03 (0.05)	0.02 (0.03)
Fenêtre de durée longue	0.04 (0.05)	0.04 (0.05)	0.02 (0.03)	0.17 (0.47)	0.08 (0.09)	0.06 (0.04)	0.06 (0.05)	0.03 (0.05)
Tâche de TR au choix								
Fenêtre de durée courte	0.03 (0.03)	0.03 (0.03)	0.02 (0.02)	0.12 (0.29)	0.03 (0.03)	0.04 (0.03)	0.03 (0.06)	0.02 (0.02)
Fenêtre de durée longue	0.02 (0.03)	0.02 (0.03)	0.02 (0.03)	0.11 (0.29)	0.02 (0.03)	0.01 (0.01)	0.05 (0.08)	0.01 (0.02)
Mauvaises réponses								
Fenêtre de durée courte	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.03 (0.01)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.02 (0.00)
Fenêtre de durée longue	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.03 (0.01)	0.02 (0.00)

ANNEXE 4

Formulaires de consentement



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

À MA PARTICIPATION À UN PROJET DE RECHERCHE

Je, soussigné(e) _____, consens par la présente à participer au projet de recherche suivant, dans les conditions décrites ci-dessous :

TITRE DU PROJET : Impacts de la condition physique sur l'attention et la mémoire dans le vieillissement normal.

RESPONSABLES : Dr **Louis Bherer** Ph.D, professeur en psychologie à l'Université du Québec à Montréal et chercheur à l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal.

Mélanie Renaud M.A., Étudiante au doctorat en neuropsychologie (UQAM) et au Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal.

OBJECTIF DU PROJET : Le but général de cette recherche est de spécifier les impacts d'une bonne condition sur la mémoire et l'attention.

LIEU DE MA PARTICIPATION :

Club APADOR du Complexe Sportif Claude Robillard
Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal

NATURE ET DURÉE DE MA PARTICIPATION :

Ma participation à ce projet consiste en 3 séances d'évaluation d'une durée totale de 4 heures incluant les pauses. Selon ma convenance, je passerai ces évaluations à l'intérieur d'une ou deux semaines. L'objectif est de mesurer les effets d'une bonne condition physique sur différents tests neuropsychologiques. Lors de la première rencontre je compléterai un test pour mesurer ma condition physique (capacités cardiorespiratoires). À la deuxième et troisième rencontre, je répondrai à de brefs questionnaires afin de fournir certaines informations sur ma vision, mon audition, ma santé physique et mentale ainsi que mes habitudes d'activité physique. D'autres examens permettront également d'évaluer ma vitesse d'exécution, mon attention et ma mémoire.

AVANTAGES POUVANT DECOULER DE MA PARTICIPATION :

Je ne retirerai aucun avantage de ma participation à ce projet si ce n'est ma contribution à l'avancement des connaissances scientifiques.

INCONVENIENTS PERSONNELS POUVANT DECOULER DE MA PARTICIPATION :

Aucun inconvénient ne peut découler de ma participation. Cependant, outre le temps et le déplacement consacrés à ma participation, je pourrais ressentir un certain état de frustration, de stress ou de fatigue.

RISQUES :

Il est entendu que ma participation à ce projet de recherche ne me fait courir, sur le plan médical, aucun risque que ce soit. Je comprends également que ma participation n'aura aucun effet sur tout traitement médical auquel je serais éventuellement soumis.

COMPENSATION FINANCIERE :

Une somme de 25 dollars me sera remise à la fin de l'étude à titre de compensation pour mes déplacements lors de ma participation à ce projet. Je devrai toutefois signer un document attestant que cet argent m'a été remis.

INFORMATIONS CONCERNANT LE PROJET :

On répondra, à ma satisfaction, à toute question que je poserai à propos du projet de recherche auquel j'accepte de participer.

RETRAIT DE MA PARTICIPATION :

Il est entendu que ma participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait volontaire, et que je reste à tout moment libre de mettre fin à celle-ci sans avoir à motiver ma décision, ni à subir de préjudice de quelque nature que ce soit, et ce, autant pour le test physique que pour les tests cognitifs. A ma demande, les données me concernant pourront être détruites.

ARRÊT DU PROJET PAR LE CHERCHEUR:

Je comprends que ma participation au projet peut être interrompue si des circonstances particulières surviennent comme, par exemple, des problèmes de santé pouvant affecter ma performance.

AUTORISATION DE TRANSMETTRE LES RESULTATS :

J'autorise les personnes responsables de ce projet à transmettre les résultats de mon évaluation à mon médecin traitant si cela était pertinent: OUI () NON ()

Nom et adresse du médecin traitant :

CONFIDENTIALITE :

Il est entendu que les observations effectuées en ce qui me concerne, dans le cadre du projet de recherche décrit ci-dessus, demeureront strictement confidentielles. Mon dossier sera codé de façon à ce qu'il demeure confidentiel et gardé dans une filière sous clé, où seuls les responsables du projet y auront accès. Les données seront conservées pendant 5 ans et détruites ou anonymisées à la fin de ce délai. De plus, les données nominales (nom, adresse ou toute autre indication) seront conservées dans un fichier à part. En cas de présentation des résultats de cette recherche ou de publication dans des revues spécialisées, rien ne pourra permettre de m'identifier ou de me retracer.

Une exception sera faite dans les cas où les données de recherche devraient être révisées par un comité de déontologie, le comité d'éthique de la recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal ou par les organismes qui subventionnent cette recherche. Les membres de ces comités sont tenus de respecter les exigences de confidentialité. En outre, un tribunal peut, par ordonnance, autoriser un tiers à consulter les données de recherche me concernant.

SIGNATURES, précédées des noms écrits en lettres moulées :

Je déclare avoir lu et pris connaissance du projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les inconvénients indirects auxquels je m'expose tels qu'exprimés dans le présent formulaire. Une copie du présent formulaire me sera remise.

Nom du participant

Signature du participant

Fait à _____,

le _____

« Je, soussigné(e) _____, certifie :

- a) avoir expliqué au signataire intéressé les termes du présent formulaire;
- b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste à tout moment libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus. »

Nom du chercheur ou de son représentant

Signature du chercheur ou de son représentant

Fait à _____,

le _____.

ACCÈS AUX CHERCHEURS

Les responsables du projet, Louis Bherer et Mélanie Renaud, peuvent être rejoints aux deux endroits suivants :

Centre de recherche
Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal
4565, chemin Queen Mary,
Montréal, Québec,
H3W 1W5.
Tél. : (514) 340-3540 poste 4020
Fax : (514) 340-3548

Département de psychologie
Université du Québec à Montréal
Case postale 8888, succursale Centre-Ville
Montréal, Québec,
H3C 3P8
Tél. : (514) 987-3000 poste 1944

EN CAS DE PLAINTÉ

Pour tout problème éthique concernant les conditions dans lesquelles se déroule ma participation à ce projet, je peux, après en avoir discuté avec la personne responsable du projet si possible, faire part de mes préoccupations à la responsable des plaintes de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal à l'adresse suivante : madame Denyse Marier, Commissaire locale à la qualité des services, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, 5325 avenue Victoria, Montréal (Qc), H3W 2P2.
Tél. : (514) 340-3558 Courriel : denyse.marier.iugm@sss.gouv.qc.ca

INFORMATION SUR LA SURVEILLANCE ÉTHIQUE

Le comité d'éthique de la recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal a approuvé ce projet de recherche et s'assure du respect des règles éthiques durant tout le déroulement de la recherche. Pour toute information, vous pouvez rejoindre le secrétariat du comité d'éthique de la recherche au (514) 340-1424 poste 3250.



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

À MA PARTICIPATION À UN PROJET DE RECHERCHE

Je, soussigné(e) _____, consens par la présente à participer au projet de recherche suivant, dans les conditions décrites ci-dessous :

TITRE DU PROJET : Impacts de la condition physique sur l'attention et la mémoire dans le vieillissement normal.

RESPONSABLES : Dr **Louis Bherer** Ph.D, professeur en psychologie à l'Université du Québec à Montréal et chercheur à l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal.

Mélanie Renaud M.A., étudiante au doctorat en neuropsychologie (UQAM) et au Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal.

OBJECTIF DU PROJET : Le but général de cette recherche est d'évaluer les effets de la condition physique sur la vitalité cognitive des personnes âgées.

LIEU DE MA PARTICIPATION :

Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal

NATURE ET DURÉE DE MA PARTICIPATION :

L'objectif est de mesurer les effets de la condition physique sur différents tests neuropsychologiques. Ma participation à ce projet consiste en 6 séances d'évaluation. Lors de la première rencontre, je répondrai à un bref questionnaire sur mes habitudes d'activité physique. De plus, je compléterai un test pour mesurer ma capacité maximale d'oxygène (VO_2max). À la deuxième et troisième rencontre, je répondrai à de brefs questionnaires afin de fournir certaines informations sur ma vision, mon audition, ma santé physique et mentale ainsi que d'autres examens qui permettront d'évaluer mon fonctionnement intellectuel général et certaines habilités cognitives comme ma vitesse d'exécution, mon attention et ma mémoire. Trois mois suivant la dernière rencontre, je compléterai à nouveau des tests évaluant mon fonctionnement cognitif et cardiorespiratoire. Cette évaluation s'échelonne sur 3 séances.

AVANTAGES POUVANT DECOULER DE MA PARTICIPATION :

Ma participation à cette expérience m'offre la possibilité de contribuer à l'avancement des connaissances scientifiques en permettant d'étudier les effets bénéfiques de l'activité physique sur la vitalité cognitive des aînés.

INCONVENIENTS PERSONNELS POUVANT DECOULER DE MA PARTICIPATION :

Il n'y a aucun inconvénient direct pouvant découler de ma participation. Cependant, ma participation peut impliquer une perte de temps liée à mes déplacements et au nombre de séances prévues par la recherche. Je comprends également qu'il est possible que je ressente un certain état de frustration, de stress et/ou de fatigue au cours de ma participation.

RISQUES :

Il est entendu que ma participation à ce projet de recherche ne me fait courir, sur le plan médical, aucun risque que ce soit.

COMPENSATION FINANCIERE :

Une somme de 10 dollars pour chacune des rencontres d'évaluation (6) me sera remise à titre de compensation pour mes déplacements lors de ma participation à ce projet. Je devrai signer un document attestant que cet argent m'a été remis.

INFORMATIONS CONCERNANT LE PROJET :

On répondra, à ma satisfaction, à toute question que je poserai à propos du projet de recherche auquel j'accepte de participer.

RETRAIT DE MA PARTICIPATION :

Il est entendu que ma participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait volontaire, et que je reste à tout moment libre de mettre fin à celle-ci sans avoir à motiver ma décision, ni à subir de préjudice de quelque nature que ce soit, et ce, autant pour le test physique que pour les tests cognitifs. A ma demande, les données me concernant pourront être détruites.

ARRÊT DU PROJET PAR LE CHERCHEUR:

Je comprends que ma participation au projet peut être interrompue si des circonstances particulières surviennent comme, par exemple, des problèmes de santé pouvant affecter ma performance.

AUTORISATION DE TRANSMETTRE LES RESULTATS :

J'autorise les personnes responsables de ce projet à transmettre les résultats de mon évaluation à mon médecin traitant si cela était pertinent: OUI () NON ()

Nom et adresse du médecin traitant :

CONFIDENTIALITE :

Il est entendu que les observations effectuées en ce qui me concerne, dans le cadre du projet de recherche décrit ci-dessus, demeureront strictement confidentielles. Mon dossier sera codé de façon à ce qu'il demeure anonyme et gardé dans une filière sous clé, où seuls les

responsables du projet y auront accès. Les données seront conservées pendant 5 ans et détruites ou anonymisées à la fin de ce délai. De plus, les données nominales (nom, adresse ou toutes autres indications permettant de m'identifier) seront conservées dans un fichier à part. En cas de présentation des résultats de cette recherche ou de publication dans des revues spécialisées, rien ne pourra permettre de m'identifier ou de me retracer.

Une exception sera faite dans les cas où les données de recherche devraient être révisées par un comité de déontologie, le comité d'éthique de la recherche ou par les organismes qui subventionnent cette recherche. Les membres de ces comités sont tenus de respecter les exigences de confidentialité. En outre, un tribunal peut, par ordonnance, autoriser un tiers à consulter les données de recherche me concernant.

SIGNATURES, précédées des noms écrits en lettres moulées :

Je déclare avoir lu et pris connaissance du projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les inconvénients indirects auxquels je m'expose tels qu'exprimés dans le présent formulaire. Une copie du présent formulaire me sera remise.

Nom du participant

Signature du participant

Fait à _____,

le _____.

« Je, soussigné(e) _____, certifie :

- a) avoir expliqué au signataire intéressé les termes du formulaire;
- b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste à tout moment libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus. »

Nom du chercheur ou de son représentant

Signature du chercheur ou de son représentant

Fait à _____,

le _____.

ACCÈS AUX CHERCHEURS

Les responsables du projet, Dr Louis Bherer Ph.D, chercheur et professeur, et Mélanie Renaud M.A. peuvent être rejoints aux deux endroits suivants :

Centre de recherche
Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal
4565, chemin Queen Mary,
Montréal, Québec,
H3W 1W5.
Tél. : (514) 340-3540 poste 4020
Fax : (514) 340-3548

Département de psychologie
Université du Québec à Montréal
Case postale 8888, succursale Centre-Ville
Montréal, Québec,
H3C 3P8
Tél. : (514) 987-3000 poste 1944

EN CAS DE PLAINTE

Pour tout problème éthique concernant les conditions dans lesquelles se déroule ma participation à ce projet, je peux, après en avoir discuté avec la personne responsable du projet si possible, faire part de mes préoccupations à la responsable des plaintes de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal à l'adresse suivante : madame Denyse Marier, Commissaire locale à la qualité des services, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, 4565, chemin Queen-Mary, Montréal (Qc), H3W 1W5. Tél. : (514) 340-3517.

INFORMATION SUR LA SURVEILLANCE ÉTHIQUE

Le comité d'éthique de la recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal a approuvé ce projet de recherche et s'assure du respect des règles éthiques durant tout le déroulement de la recherche. Pour toute information, vous pouvez rejoindre le secrétariat du comité d'éthique de la recherche au (514) 340-1424 poste 3250.



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

À MA PARTICIPATION À UN PROJET DE RECHERCHE

Je, soussigné(e) _____, consens par la présente à participer au projet de recherche suivant, dans les conditions décrites ci-dessous :

TITRE DU PROJET : Impacts de la condition physique sur la mémoire et l'attention dans le vieillissement normal.

RESPONSABLE : Dr **Louis Bherer** Ph.D, professeur en psychologie à l'Université du Québec à Montréal et chercheur à l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal.

Mélanie Renaud M.A., étudiante au doctorat en neuropsychologie (UQAM) et au Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal.

OBJECTIF DU PROJET : Le but général de cette recherche est d'évaluer les effets d'un court programme d'entraînement physique sur la vitalité cognitive des personnes âgées.

LIEU DE MA PARTICIPATION :

Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal

NATURE ET DURÉE DE MA PARTICIPATION :

L'objectif du programme est d'améliorer ma fonction cardiorespiratoire et d'en vérifier les impacts sur différents tests neuropsychologiques. Ma

participation à ce projet consiste à entreprendre un programme d'entraînement physique de 3 mois dans lequel je participerai à différentes activités permettant d'augmenter suffisamment ma fréquence cardiaque et ainsi améliorer ma condition cardiorespiratoire.

Ma participation à cette expérience implique 42 séances. Lors de la première rencontre, je répondrai à un bref questionnaire sur mes habitudes d'activité physique. De plus, je compléterai un test pour mesurer ma capacité maximale d'oxygène (VO_2max).

Lors de la deuxième séance, je compléterai de brefs questionnaires afin de fournir certaines informations sur ma vision, mon audition, ma santé physique et mentale. De plus, d'autres examens permettront d'évaluer ma mémoire et ma vitesse d'exécution.

Au cours de la troisième séance, je compléterai d'autres tests évaluant certaines habilités cognitives comme ma résolution de problèmes, ma capacité à effectuer deux tâches à la fois, mon attention et ma capacité d'inhibition. Chacune de ces séances sera d'une durée d'une heure trente.

Ensuite, j'effectuerai 36 séances d'entraînement d'une heure chacune comprenant une période d'échauffement, une période d'exercices variés (exercices cardiorespiratoires, exercices de flexibilité, étirements, etc.) et une période de récupération, à raison d'une seule séance par jour, 3 fois par semaine. Une fois l'entraînement terminé, je compléterai à nouveau des tests évaluant mon fonctionnement cognitif et cardiorespiratoire. Cette évaluation s'échelonnera sur 3 séances.

AVANTAGES POUVANT DECOULER DE MA PARTICIPATION :

Ma participation à cette expérience m'offre la possibilité de contribuer à l'avancement des connaissances scientifiques en permettant d'étudier les effets bénéfiques de l'activité physique sur la vitalité cognitive des aînés.

INCONVENIENTS PERSONNELS POUVANT DECOULER DE MA PARTICIPATION :

Il n'y a aucun inconvénient direct pouvant découler de ma participation. Cependant, ma participation peut impliquer une perte de temps liée à mes déplacements et au nombre de séances prévues par la recherche. Je comprends également qu'il est possible que je ressente un certain état de frustration, de stress et/ou de fatigue au cours de ma participation.

RISQUES :

Il est entendu que ma participation à ce projet de recherche ne me fait courir, sur le plan médical, aucun risque que ce soit.

COMPENSATION FINANCIERE :

Une somme de 10 dollars pour chacune des rencontres d'évaluation (6) me sera remise à titre de compensation pour mes déplacements lors de ma participation à ce projet. Je devrai toutefois signer un document attestant que cet argent m'a été remis.

INFORMATIONS CONCERNANT LE PROJET :

On répondra, à ma satisfaction, à toute question que je poserai à propos du projet de recherche auquel j'accepte de participer.

RETRAIT DE MA PARTICIPATION :

Il est entendu que ma participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait volontaire, et que je reste à tout moment libre de mettre fin à celle-ci sans avoir à motiver ma décision, ni à subir de préjudice de quelque nature que ce soit, et ce, autant pour l'entraînement physique que pour les tests cognitifs. A ma demande, les données me concernant pourront être détruites.

ARRÊT DU PROJET PAR LE CHERCHEUR:

Je comprends que ma participation au projet peut être interrompue si des circonstances particulières surviennent comme, par exemple, des problèmes de santé pouvant affecter ma performance.

AUTORISATION DE TRANSMETTRE LES RESULTATS :

J'autorise les personnes responsables de ce projet à transmettre les résultats de mon évaluation à mon médecin traitant si cela était pertinent: OUI () NON ()

Nom et adresse du médecin traitant :

CONFIDENTIALITE :

Il est entendu que les observations effectuées en ce qui me concerne, dans le cadre du projet de recherche décrit ci-dessus, demeureront strictement confidentielles. Mon dossier sera codé de façon à ce qu'il demeure anonyme et gardé dans une filière sous clé, où seuls les responsables du projet y auront accès. Les données seront conservées pendant 5 ans et détruites ou anonymisées à la fin de ce délai. De plus, les données nominales (noms, adresses ou toutes autres indications permettant de m'identifier) seront conservées dans un fichier à part. En cas de présentation des résultats de cette recherche ou de publication dans des revues spécialisées, rien ne pourra permettre de m'identifier ou de me retracer. Une exception sera faite dans les cas où les données de recherche devraient être révisées par un comité de déontologie, le comité d'éthique de la recherche ou par les organismes qui subventionnent cette recherche. Les membres de ces comités sont tenus de respecter les exigences de confidentialité. En outre, un tribunal peut, par ordonnance, autoriser un tiers à consulter les données de recherche me concernant.

SIGNATURES, précédées des noms écrits en lettres moulées :

Je déclare avoir lu et pris connaissance du projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les inconvénients indirects auxquels je m'expose tels qu'exprimés dans le présent formulaire. Une copie du présent formulaire me sera remise.

Nom du participant

Signature du participant

Fait à _____,

le _____

« Je, soussigné(e) _____, certifie :

- d) avoir expliqué au signataire intéressé les termes du formulaire;
- e) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- f) lui avoir clairement indiqué qu'il reste à tout moment libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus. »

Nom du chercheur ou de son représentant

Signature du chercheur ou de son représentant

Fait à _____,

le _____.

ACCÈS AUX CHERCHEURS

Les responsables du projet, Dr Louis Bherer Ph.D, chercheur et professeur, et Mélanie Renaud M.A. peuvent être rejoints aux deux endroits suivants :

Centre de recherche
Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal
4565, chemin Queen Mary,
Montréal, Québec,
H3W 1W5.
Tél. : (514) 340-3540 poste 4020
Fax : (514) 340-3548

Département de psychologie
Université du Québec à Montréal
Case postale 8888, succursale Centre-Ville
Montréal, Québec,
H3C 3P8
Tél. : (514) 987-3000 poste 1944

EN CAS DE PLAINTÉ

Pour tout problème éthique concernant les conditions dans lesquelles se déroule ma participation à ce projet, je peux, après en avoir discuté avec la personne responsable du projet si possible, faire part de mes préoccupations à la responsable des plaintes de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal à l'adresse suivante : madame Denyse Marier, Commissaire locale à la qualité des services, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, 4565 Queen-Mary, Montréal (Qc), H3W 1W5. Tél. : (514) 340-3517.

INFORMATION SUR LA SURVEILLANCE ÉTHIQUE

Le comité d'éthique de la recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal a approuvé ce projet de recherche et s'assure du respect des règles éthiques durant tout le déroulement de la recherche. Pour toute information, vous pouvez rejoindre le secrétariat du comité d'éthique de la recherche au (514) 340-1424 poste 3250.

ANNEXE 5

Approbation scientifique et éthique

Le 4 février 2005

Monsieur Louis Behrer, PhD, chercheur
Mme Mélanie Renaud, MA, étudiante au doctorat
Centre de recherche de l'IUGM
4565, chemin Queen Mary
Montréal (Qc)
H3W 1W5

Objet: Votre projet intitulé "Impacts de la condition physique sur le contrôle exécutif dans le vieillissement normal".

Monsieur, Madame,

Il me fait plaisir, au nom du Comité d'évaluation scientifique, d'approuver votre projet cité en rubrique. Comme vous pourrez le constater en parcourant les grilles d'évaluation ci-jointes, votre projet a été jugé favorablement pour presque la totalité des critères d'évaluation. Les deux volets de votre projet ont été examinés. Vous n'êtes pas tenu de répondre aux quelques commentaires bien que nous espérons qu'ils soient utiles à la réadation d'un projet futur. De plus, nous tenons à souligner la qualité de votre projet, notamment pour son contenu scientifique bien documenté.

Votre projet est très pertinent et s'inscrit très bien dans la mission de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal. Je recommande donc au CÉR d'examiner votre projet lors de sa prochaine réunion prévue le 21 février 2005.

Je vous souhaite le meilleur des succès dans la réalisation de votre projet, tout en vous rappelant que vous devez attendre l'approbation définitive du CÉR avant de débiter votre recherche.

Je vous prie d'accepter, Monsieur, Madame, l'expression de mes meilleurs sentiments.



Louise Demers, Ph.D, OT(C)
Présidente du CÉS

cc: Louise Francoeur, Présidente CÉR
Secrétariat, CÉR



AUTORISATION DE L'ÉTABLISSEMENT

Le comité d'éthique de la recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal a examiné la demande pour le projet intitulé:

«**Impacts de la condition physique sur le contrôle exécutif dans le vieillissement normal**»
réf. : 2005-0203

présenté par : **M. Louis Bherer, Ph.D., et Mme Mélanie Renaud**

et juge la recherche acceptable au point de vue éthique.

Louise Francoeur, présidente

7 mars 2005

Date

Ce rapport est valide jusqu'au : 31 mars 2006

LE COMITÉ D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE EST COMPOSÉ DES MEMBRES SUIVANTS:

Nom, Prénom	Champ d'activités des membres
de Champlain, Johane	Juriste
Francoeur, Louise	Présidente, Infirmière clinicienne spécialisée (substitut de la conseillère en éthique)
Gangbè, Marcellin	Représentant des étudiants post-gradués
Gilbert, Brigitte	Neuropsychologue clinicienne
Joncas, Steve	Neuropsychologue clinicien (substitut)
Kahlaoui, Karima	Représentante des étudiants post-gradués (substitut)
Lagacé, Lise	Juriste (substitut)
Massoud, Fadi	Médecin (substitut)
Nadeau, Monique	Représentante du public
Normandin, Monique	Représentante du public
Parizeau, Marie-Hélène	Éthicienne
Ska, Bernadette	Chercheure

ANNEXE 6

Preuves de soumission des articles



Journal of Gerontology:
Psychological Sciences

**A High Level of Physical Fitness Is Associated with more
Efficient Response Preparation in Older Adults**

Journal:	<i>Journal of Gerontology: Psychological Sciences</i>
Manuscript ID:	JGPS-2009-053.R1
Manuscript Type:	Original Research Report
Date Submitted by the Author:	
Complete List of Authors:	Renaud, Mélanie; Institut universitaire de gériatrie de Montréal, Centre de recherche Bherer, Louis; Université du Québec à Montréal, Département de psychologie Maquestiaux, François; Université Paris-Sud XI, UFR STAPS
Keywords:	Attention, Cognition, Physical Fitness



**Journal of Aging
and Physical Activity**

**The effect of three months of aerobic training on
neuropsychological tests and response preparation
performances in normal older adults as a function of
baseline fitness**

Journal:	<i>Journal of Aging and Physical Activity</i>
Manuscript ID:	JAPA_2009_0020
Manuscript Type:	Original research
Focus Area:	cognitive behavior, physical fitness
Statistical Methods:	analysis of variance
Free-Form Keywords:	Aging, Fitness, Cognition

