



uOttawa

L'Université canadienne
Canada's university

**FACULTÉ DES ÉTUDES SUPÉRIEURES
ET POSTDOCTORALES**



**FACULTY OF GRADUATE AND
POSTDOCTORAL STUDIES**

Alexandre Bélanger

AUTEUR DE LA THÈSE / AUTHOR OF THESIS

Ph.D. (psychologie clinique)

GRADE / DEGREE

École de psychologie

FACULTÉ, ÉCOLE, DÉPARTEMENT / FACULTY, SCHOOL, DEPARTMENT

« Forces et faiblesses des conducteurs âgés face à des situations inattendues de nature virtuelle. »

TITRE DE LA THÈSE / TITLE OF THESIS

Sylvain Gagnon

DIRECTEUR (DIRECTRICE) DE LA THÈSE / THESIS SUPERVISOR

CO-DIRECTEUR (CO-DIRECTRICE) DE LA THÈSE / THESIS CO-SUPERVISOR

Louis Bhrer

Charles Collin

François Tremblay

Keith Wilson

Gary W. Slater

Le Doyen de la Faculté des études supérieures et postdoctorales / Dean of the Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies

FORCES ET FAIBLESSES DES CONDUCTEURS ÂGÉS
FACE À DES SITUATIONS INATTENDUES DE NATURE VIRTUELLE

ALEXANDRE BÉLANGER

Thèse soumise à l'École de Psychologie
dans le cadre des exigences du programme doctoral en psychologie

École de Psychologie
Faculté des Sciences Sociales
Université d'Ottawa

© Alexandre Bélanger, Ottawa, Canada, Novembre 2009



Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence
ISBN: 978-0-494-69118-2
Our file Notre référence
ISBN: 978-0-494-69118-2

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

■ ♦ ■
Canada

TABLE DES MATIÈRES

Liste des Tableaux	v
Liste des Figures	vi
Liste des Appendices	ix
Liste des Principales Abréviations Employées	x
Résumé Général de la Thèse	xi
Remerciement	xii
1. Introduction.....	1
1.1. Portrait des conducteurs âgés.....	1
1.1.1. Constat démographique	1
1.1.2. Importance subjective de l'automobile.....	1
1.1.3. Référents de la compétence des conducteurs âgés.....	2
1.1.4. Accidentologie	4
1.1.4.1. Nombre d'accidents	4
1.1.4.2. Les décès causés par les accidents de la route	5
1.1.4.3. Responsabilité des accidents.....	6
1.1.4.4. Situations à risque d'accident	7
1.1.4.5. Stratégies compensatoires.....	8
1.1.4.6. Origine endogène et exogène des accidents routiers	8
1.2. Les corrélats de la compétence des conducteurs âgés	9
1.2.1. L'âge chronologique	10
1.2.2. Les diagnostics médicaux	11
1.2.3. La vision.....	13

1.2.4. Les autres processus cognitifs.....	14
1.2.4.1. Champ visuel utile	15
1.2.5. La nature multidimensionnelle de la conduite automobile	16
1.2.6. L'approche des fonctions exécutives	18
1.2.6.1. Données neurophysiologiques	19
1.2.6.2. Données neuropsychologiques.....	20
1.2.6.2.1. Conduite automobile et fonctions exécutives	27
1.3. Modèles cognitifs de la conduite automobile	31
1.3.1. Modèle de Michon	31
1.3.2. Modèle de Sheridan	34
1.3.3. Modèles de la conduite automobile et fonctions exécutives.....	37
2. Chapitre 1	48
2.1. Objectif	4849
2.2. Pré-expérimentation	49
2.3. Articles de l'étude 1	49
2.3.1. Article 1	51
2.3.2. Article 2	87
2.4. Conclusion du chapitre 1	125
2.4.1. Charge mentale cognitive	125
2.4.2. Comportement routier virtuel	125
3. Chapitre 2.....	128
3.1. Paramètres de la situation <i>dépassement imprudent</i>	128
3.1.1. Séquentialisation	129

3.1.2. Indices environnementaux	130
3.1.3. Ralentissement cognitif.....	131
3.2. Objectifs et hypothèses	132
3.3. Pré-expérimentation	134
3.4. Article 3	135
4. Discussion générale	191
4.1. Retour sur les objectifs principaux de la thèse.....	191
4.2. Méthodologie	191
4.3. Principaux résultats	192
4.3.1. Évaluation objective de la charge mentale	192
4.3.2. Évaluation subjective de la charge mentale	193
4.3.3. Taux de collision.....	193
4.3.4. Comportement des conducteurs en fonction de l'âge	194
4.3.5. Les réactions et comportements menant à une collision.....	195
4.3.6. Mesures cognitives.....	196
4.4. Interprétations des difficultés des conducteurs âgés en réaction aux	
. évènements surprenants	197
4.4.1. Vitesse d'exécution.....	197
4.4.2. Intégrité des fonctions exécutives.....	199
4.4.2.1. Séquentialisation	199
4.5. Arrimage des observations avec deux modèles de conduite automobile.....	202
4.5.1. Modèle de Michon	202
4.5.2. Modèle de Shéridan	205

4.6. Validité des résultats obtenus.....	207
4.7. Implications.....	210
4.8. Conclusion.	211
5. Références.....	213
6. Appendices.....	243
6.1. Appendice A : Questionnaire pré-expérimental.	243
6.2. Appendice B : Questionnaire téléphonique	245
6.3. Appendice C : Simulator Sickness Questionnaire.	256

LISTE DES TABLEAUX

Article 1

Table 1 : NASA-TLX Subscales (p.77)

Article 2

Table 1: Demographic characteristics of the participants. (p.118)

Table 2: Characteristics of the challenging events. (p.118)

Article 3

Table 1: Characteristics of the challenging events from Bélanger et al., in press. (p.180)

Table 2: Demographic characteristics of the participants using the widescreen simulator. (p.180)

Table 3: Demographic characteristics of the participants using the portable simulator.

Table 4: Characteristics of the challenging events. (p.181)

Table 5: Standard deviations of steering wheel angle and brake pressure at T0s for each surprising event. (p.181)

Table 6: Results of analyses of variance comparing older crashers to older non-crashers. (p.182)

Table 7: Results of analyses of variance comparing younger crashers to younger non-crashers. (p.182)

Table 8: Results of analyses of variance comparing younger and older participants during *left incursion* event. (p.183)

Table 9: Analyses of variance results for shoulder effect. (p.183)

LISTE DES FIGURES

Introduction

Figure 1: Représentation des accidents selon le nombre de kilomètres parcourus, le nombre de permis et l'âge des conducteurs. (p.5)

Figure 2: Représentation de l'interaction entre le Système de Supervision Attentionnel et le Système Objet de Norman et Shallice (1986). (p.24)

Figure 3: Représentation des niveaux stratégique, tactique et opérationnel du modèle de Michon 1985, incluant les principaux processus cognitifs impliqués et les temps de latence. (p.33)

Figure 4 : Représentation de l'interaction entre les composantes « intention, sensorie, décision, véhicule et activation » du modèle de Sheridan (2004). (p.35)

Article 1

Figure 1: Driving simulator configuration. (p.84)

Figure 2: Reaction times to the dual task as a function of the driving complexity.
(p.84)

Figure 3: Detection accuracy to the dual task as a function of the driving complexity.
(p.85)

Figure 4: Variation of the reaction time to the dual task according to the nature of the unexpected events. (p.85)

Figure 5: Variation of the detection accuracy to the dual task according to the nature of the unexpected events. (p.86)

Article 2.

Figure 1: Schematic representation of the simulated scenario including the position of the five surprising events. (p.119)

Figure 2: Steering angle during car overtaking considering crash occurrence and age group. (p.120)

Figure 3: Lateral acceleration for each interval in the car overtaking event considering crash occurrence and age group. (p.120)

Figure 4: Simultaneous use of steering wheel and braking pedal during car overtaking considering crash occurrence and age group. (p.121)

Figure 5: Number of periods when both steering wheel and brake pedal were activated during car overtaking considering crash occurrence and age group. (p.121)

Figure 6: Pedal pressure for each interval of the pedestrians crossing event considering crash occurrence and age group. (p.122)

Figure 7: Lateral acceleration for each interval of the parked car incursion event considering age group. (p.122)

Figure 8: UFOV scores considering crash occurrence and age group. (p.123)

Figure 9: Visual secondary task latency data during complex sections of the scenario considering crash occurrence and age group. (p.123)

Figure 10: Visual secondary task accuracy scores results during complex sections of the scenario considering crash occurrence and age group. (p.123)

Figure 11: Results obtained on the six subscales of NASA-TLX considering crash occurrence and age group. (p.124)

Article 3

Figure 1: Schematic representation of the overtaking with shoulder event. The participant (P) approaches a bus (B) and an occluded car (C) swiftly moves into the driver's lane in an attempt to pass the bus. (p.185)

Figure 2: Widescreen simulator configuration. (p.185)

Figure 3: Portable simulator configuration. (p.186)

Figure 4: Crash rate using the widescreen simulator with respect to crash occurrence and age group. (p.186)

Figure 5: UFOV scores using the widescreen simulator with respect to crash occurrence and age group. (p.187)

Figure 6: Trail Making Tests scores using the widescreen simulator with respect to crash occurrence and age group. (p.187)

Figure 7: Reaction time scores using the widescreen simulator with respect to crash occurrence and age group. (p.188)

Figure 8: Crash rate using the portable simulator with respect to crash occurrence and age group. (p.188)

Figure 9: UFOV scores using the portable simulator with respect to crash occurrence and age group. (p.189)

Figure 10: Trail Making Tests scores using the portable simulator with respect to crash occurrence and age group. (p.189)

Figure 11: Reaction time scores using the portable simulator with respect to crash occurrence and age group. (p.190)

LISTE DES APPENDICES

Appendice A : Questionnaire pré-expérimental

Appendice B : Questionnaire téléphonique

Appendice C : Simulator Sickness Questionnaire

LISTE DES PRINCIPALES ABRÉVIATIONS EMPLOYÉES

UFOV: Useful Field Of View

SO: Système Objet

SSA : Système de Supervision Attentionnel

I : Intention

S : Sensoriel

D : Décisionnel

A : Activation

V : Véhicule

MMSE : Mini-Mental State Examination

RT : Reaction time

MD : Mental demand

PD : Physical demand

TD : Temporal demand

E: Effort

F: Frustration

P: Performance

SD: Standard deviation

M: Mean

SAS : Simulator adaptation syndrome

SEM: Standard error of the mean

TMT: Trail-Making Test

DCL: Déficience cognitive légère

RÉSUMÉ GÉNÉRAL DE LA THÈSE

Deux expériences ont été réalisées dans le but d'explorer les comportements au volant des conducteurs jeunes et âgés en contexte de simulation en réaction à des situations peu familières et complexes. Lors de la première expérience, nous avons exploré la charge cognitive et le comportement des conducteurs jeunes et âgés selon la complexité de l'environnement. Des conducteurs jeunes (25-35) et âgés (65 et plus) ont complété un parcours simulé à cinq reprises composé de portions simples (p.ex. conduite en ligne droite), complexes (p.ex. virage à gauche) et d'un événement surprenant. L'analyse de la complexité de l'environnement a d'abord été effectuée à partir d'évaluations objectives (tâche secondaire pendant la simulation) ainsi qu'à partir d'évaluations subjectives de la charge mentale (NASA-TLX). Nous avons observé qu'un événement nécessitant le déploiement rapide de multiples manœuvres a pour effet d'accroître la charge cognitive et le taux de collision chez les conducteurs âgés. Les analyses montrent également que les conducteurs âgés impliqués dans une collision optent pour une stratégie de conduite nettement plus lente et séquentielle. Dans une seconde étude, 62 jeunes conducteurs et 62 conducteurs âgés ont été soumis à six nouveaux événements surprenants sur l'une de deux plateformes de simulation (originale ou portable). Les événements surprenants variaient selon la complexité des réponses requises, l'espace d'évitement, ainsi que les indices contextuels d'évitement, tout en maintenant une pression temporelle élevée. Les résultats confirment que le risque de collision est plus élevé chez les conducteurs âgés et qu'il appert essentiellement attribuable à une séquentialisation des réactions. Cette stratégie compensatoire s'observe lorsque la situation est complexe et peu familière, lorsque la pression temporelle est élevée, et lorsque l'événement ne peut être anticipé. Les résultats sont interprétés sur la base des interprétations classiques du vieillissement cognitif (déclin des fonctions exécutives et ralentissement) et de deux modèles de la conduite automobile (Michon, 1985 et Sheridan, 2004).

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette thèse m'a permis de collaborer avec de nombreuses personnes. Je ne peux les citer toutes mais je tiens à souligner leur support et bons conseils. Je pense particulièrement à mon superviseur, Dr Sylvain Gagnon, pour son support aussi bien humain que scientifique. Ses remarques généreuses et précises ont permis d'améliorer non seulement cette thèse mais aussi ma propre personne. Je lui en suis infiniment reconnaissant. Je remercie également les autres membres de mon comité de thèse, Dr François Tremblay, Dr Charles Collin et Dr Keith Wilson, pour avoir lu et amélioré ce travail.

Je désire remercier le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada pour son appui financier ainsi que le groupe de recherche CanDRIVE pour leur appui lors de l'obtention du simulateur.

Je tiens à souligner l'apport des étudiants du Laboratoire du Vieillissement Cognitif de l'Université d'Ottawa qui m'ont épaulé dans l'accomplissement de cette thèse. Andrée-Ann Cyr qui m'a permis d'accomplir la première expérimentation. Stéphanie Yamin qui a contribué à l'écriture et l'analyse des résultats du second article. Arne Stinchcombe for correcting my texts in English. Mélanie Joannis pour ses conseils, son amitié et son dynamisme.

Je tiens à remercier mes amis et ma famille qui m'ont toujours encouragé et soutenu. J'ai une pensée particulière à l'endroit de Valérie qui a corrigé les nombreuses fautes. Mais aussi à mes parents, d'avoir toujours cru en moi de façon inconditionnelle. Enfin, un merci à Janie, mon amour, qui m'a donné une vie en dehors du doctorat.

1.1. INTRODUCTION

1.1. Portrait des Conducteurs Âgés

1.1.1. *Constat Démographique*

Les conducteurs âgés de 65 ans et plus représentent la cohorte qui enregistre la plus forte progression démographique (Nations Unies, 2001). Aux États-Unis seulement, on comptait en 2004 déjà 28 millions de conducteurs âgés de 65 ans et plus, soit 15 % de tous les conducteurs américains (National Highway Traffic Safety Administration, 2006). Certains prédisent que le nombre d'automobilistes âgés pourrait doubler d'ici 2030 (Griffin, 2004). En fait, non seulement les automobilistes âgés seront plus nombreux dans les années à venir, mais ils garderont leur permis plus longtemps et conduiront davantage que les personnes âgées des décennies précédentes (Hu, Trumble, Foley, Eberhard, & Wallace, 1993; Lyman, Ferguson, Braver, & Williams, 2002). L'utilisation accrue de l'automobile chez les personnes âgées est le résultat d'une amélioration de leur niveau de vie jumelée au désir de préserver une vie plus active (Rosenbloom, 2003).

1.1.2. *Importance Subjective de l'Automobile*

L'importance de la conduite automobile pour les personnes âgées se reflète aussi subjectivement. Ainsi, selon Fricke et Unsworth (2001), les personnes âgées considèrent la conduite automobile comme l'une des activités quotidiennes les plus importantes. Ceci est bien illustré par les résultats de Persson (1993) qui observe que seulement 5 % des automobilistes âgés cesseraient de conduire s'ils étaient impliqués dans un accident de la route. Incidemment, le retrait du permis de conduire afflige la qualité de vie d'une proportion très importante des conducteurs âgés (Fonda, Wallace, & Herzog, 2001; Marottoli, de Leon, Glass, Williams, Cooney, & Berkman, 2000; Ragland, Satariano, &

MacLeod, 2005). Plus précisément, selon Harrison et Ragland (2003), un nombre important de conducteurs âgés qui cessent de conduire seraient à risque de présenter des difficultés au niveau de leur identité personnelle, de perdre leur autonomie, de souffrir de symptômes dépressifs, en plus de voir leur niveau de satisfaction globale diminuer.

Compte tenu du phénomène démographique et de l'importance qu'accordent les personnes âgées à la conduite automobile, il importe d'explorer leurs difficultés afin d'identifier des moyens qui pourront aider les conducteurs âgés à préserver leur privilège de conduire une automobile le plus longtemps possible (Kua, Korner-Bitensky, Desrosiers, Man-Son-Hing, & Marshall, 2007; Stephens, McCarthy, Marsiske, Classen, Shechtman, Justiss, & Mann, 2005; Wang & Carr, 2004).

1.1.3. *Référents de la Compétence des Conducteurs Âgés*

En dépit de la quantité des observations acquises auprès de conducteurs âgés, les chercheurs n'ont toujours pas fait consensus concernant une question fondamentale dans le domaine : comment identifier les conducteurs âgés à risque? Pour ce faire, plusieurs auteurs (Akinwuntan, DeWeerd, Feys, Baten, Arno, & Kiekens 2003; Di Stefano & Macdonald, 2003; Hunt, Murphy, Carr, Duchek, Buckles, & Morris, 1997; Odenheimer, Beaudet, Jette, Albert, Grande, & Minaker, 1994; Patomella, Tham, & Kottorp, 2006; Stutts & Wilkins, 2003) préconisent l'évaluation sur route. Ainsi, l'évaluation routière effectuée par les autorités compétentes témoignerait fidèlement des aptitudes des conducteurs âgés et serait en mesure d'identifier les individus à risque d'accident. Cependant, plusieurs auteurs s'interrogent sur la portée et la fiabilité des résultats obtenus, sans toutefois remettre en question l'importance d'une telle évaluation (Anstey, Wood, Lord, & Walker, 2005; Bieliauskas, 2005; Dobbs, 2005; Withaar, Brouwer, &

Van Zomeren, 2002). En effet, l'évaluation routière s'effectue habituellement dans des conditions routières plus familières et souvent peu complexes, ce qui limiterait l'extrapolation des comportements observés en situation d'évaluation à l'ensemble des situations rencontrées normalement sur la route (par exemple : la nature des réactions face à des événements inattendus). Par ailleurs, l'évaluation ne témoignerait pas non plus des capacités compensatoires de certains conducteurs âgés (conduire accompagné d'un passager; Hing, Stamatiadis, & Aultman-Hall, 2003). La fiabilité absolue de l'évaluation sur route est également remise en question par le nombre relativement élevé de conducteurs âgés impliqués dans un accident (voir statistiques ci-dessous). Ainsi, l'évaluation sur route ne serait pas suffisante pour identifier adéquatement les conducteurs âgés considérés à risque (Bieliauskas, 2005). Pour la remplacer, certains auteurs proposent d'examiner la nature des accidents impliquant des conducteurs âgés (Cook, Knight, Olson, Nechodom, & Dean, 2000; Meuleners, Harding, Lee, & Legge, 2006; Williams & Shabanova, 2003). Ces auteurs proposent que la manifestation d'accidents responsables représente le meilleur indice de la compétence des conducteurs âgés (voir aussi Ball et al., 2006; Owsley et al., 1998). Ceci permettrait non seulement d'identifier les facteurs endogènes (attitudes, santé, cognition, etc.) et exogènes (la voiture, l'environnement routier, etc.) qui caractérisent les conducteurs âgés à risque d'accident mais également d'explorer des moyens afin de pallier à leurs difficultés et possiblement, prévenir les collisions (Roenker, Cissell, Ball, Wadley, & Edwards, 2003). Dans la présente étude, nous allons exploiter particulièrement la deuxième alternative. Plus précisément, plusieurs résultats obtenus à l'aide de l'accidentologie (c'est-à-dire

l'étude des accidents et des risques d'accident) nous permettront de documenter et de fournir des interprétations aux difficultés des conducteurs âgés.

1.1.4. *Accidentologie*

1.1.4.1. *Nombre d'accidents*

Les données recueillies par plusieurs études en accidentologie révèlent que les conducteurs âgés commettent peu d'accidents en chiffres absolus (voir figure 1; Evans, 1988; Lyman, Ferguson, Braver, & Williams, 2002; Rothe, 1990; Ryan, Legge, & Rosman, 1998). Toutefois, lorsque le nombre d'accidents par kilomètre parcouru est considéré et que le ratio nombre d'accidents par km est calculé, ce dernier est plus élevé chez les automobilistes âgés de 75 ans et plus qu'il ne l'est chez les conducteurs âgés de 25 à 45 ans (Evans, 1988, Li, Braver, & Chen, 2003; McGwin & Brown, 1999; Meuleners, Harding, Lee, & Legge, 2006; pour une opinion divergente voir Langford, Methorst, & Hakamies-Blomqvist, 2006). Ce portrait s'aggrave davantage chez les conducteurs âgés de 80 ans et plus qui eux présentent un risque d'accident par kilomètre parcouru équivalent aux jeunes conducteurs âgés de 16 à 19 ans (Massie & Campbell, 1993; Massie, Campbell, & Williams, 1995; Preusser, Williams, Ferguson, Ulmer, & Weinstein, 1998; Retchin & Anapolle, 1993; Ryan, Legge, & Rosman, 1998; Tavis, Kuhn, & Layde, 2001).

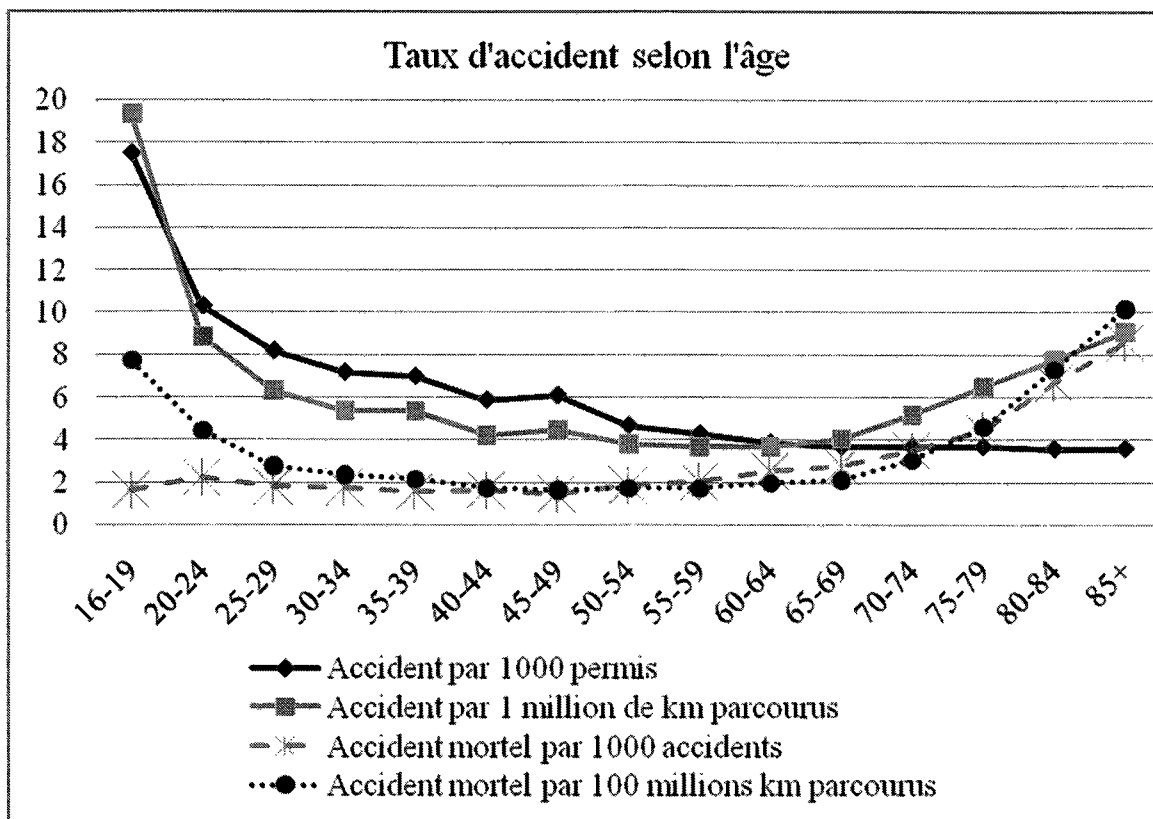


Figure 1: Représentation des accidents selon le nombre de kilomètres parcourus, le nombre de permis et l'âge des conducteurs.

1.1.4.2. Les décès causés par les accidents de la route

L'importance de la prévention de ces accidents chez les personnes âgées est motivée par leur fragilité physique qui s'exprime par une récupération plus lente de leurs blessures et un risque accru de décéder des suites d'un accident d'automobile (Bordeleau, 2001; Messinger-Rapport, 2003; Zhang, Lindsay, Clarke, Robbins, & Mao, 1997). En fait, comparativement aux conducteurs âgés de 30 à 59 ans, le risque d'accident mortel est deux fois supérieur chez les 70 à 74 ans et cinq fois supérieur chez les 80 ans et plus (Li et al., 2003). Au Canada, Zhang, Lindsay, Clarke, Robbins et Mao (2000) rapportent un accroissement semblable en fonction de l'âge, alors que les conducteurs âgés entre 70-

74 ans, 75-79 ans et de 80 ans et plus présentent des taux d'accidents respectivement de 1,37, 1,42 et 2,26 plus élevés que les conducteurs de 65 à 69 ans. Cooper (1990) rapporte des résultats comparables après avoir étudié la responsabilité des conducteurs de tous les groupes d'âge. Selon cet auteur, les deux cohortes de conducteurs les plus souvent responsables d'un accident de la route sont les 16-25 ans et les 65 ans et plus. Lorsque le ratio accidents responsables par accidents non responsables est mis en relation avec l'âge des conducteurs, Cooper (1990) observe une courbe qui s'accroît d'une façon exponentielle après 65 ans. En outre, les décès résultants d'une collision représentent la première cause de mortalité chez les 65 à 74 ans et la deuxième chez les 75 ans et plus (Kent, Henary, & Matsuoka, 2005; Persson, 1993). À ce titre, Lyman et al., (2002) prévoient une augmentation de 155 % du nombre d'accidents routiers mortels chez les personnes de 65 ans et plus entre 2002 et 2030 aux États-Unis.

1.1.4.3. *Responsabilité des accidents*

En plus d'être impliquées dans un nombre relativement élevé d'accidents mortels, les personnes âgées sont reconnues plus fréquemment responsables de leurs accidents comparativement aux autres cohortes de conducteurs (Hakamies-Blomqvist, 1998; McGwin & Brown, 1999; Williams & Shabanova, 2003). Une étude scandinave réalisée par Hakamies-Blomqvist (1998) observe un taux de responsabilité de 74 % chez les conducteurs de la cohorte des 65 ans et plus, comparativement à 39 % chez les 26 à 40 ans. Des statistiques comparables ont été obtenues plus récemment par Langford, Koppel, Andrea et Fildes (2006). Suite à l'analyse de données australiennes, ils ont observé que les conducteurs âgés de 65 ans et plus sont reconnus responsables 1,5 fois plus souvent que les adultes de 25 à 45 ans.

1.1.4.4. *Situations à risque d'accident*

Par ailleurs, l'accidentologie met en évidence des comportements routiers pouvant être à l'origine des accidents commis par les conducteurs âgés (Ball & Owsley, 1991; Claret, Luna del Castillo, Moleon, Cavanillas, Martin, & Vargas, 2003; De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2001; Dobbs, Heller, & Schopflocher, 1998; Mayhew, Simpson, & Ferguson, 2006). Chandraratna et Stamatiadis (2003) ont examiné les données relatives aux accidents répertoriés dans l'État du Kentucky entre 1995 et 1999. Les analyses ont permis d'identifier trois principales manœuvres à risque pour les personnes âgées, soit par ordre d'importance : le virage à gauche, la distance estimée avec les voitures sur la voie transversale à une intersection et le changement de voie sur les autoroutes (voir aussi Daigneault, Joly, & Frigon, 2002; McGwin & Brown, 1999; Stamatiadis, Taylor, & McKelvey, 1991). À titre indicatif, un conducteur âgé de 85 ans et plus présente une probabilité 3,6 fois plus élevée d'être impliqué dans un accident relié à l'estimation de la distance séparant la voiture du conducteur des voitures qui s'approchent transversalement à une intersection comparativement à un conducteur de 65 à 69 ans. Ainsi, ces études mettent en évidence deux facteurs qui semblent caractériser les situations à risque d'accident pour les personnes âgées (Chandraratna & Stamatiadis 2003). D'une part, les erreurs des automobilistes âgés se produisent davantage dans des situations où la planification d'un enchaînement d'actions, de même que l'intégration de plusieurs détails et informations complexes sont requises (Parker, Reason, Manstead, & Stradling, 1995). D'autre part, ces situations à risque présentent une contrainte de temps importante (Stamatiadis et al., 1991). Ainsi, ces deux composantes pourraient interagir et accentuer le risque d'accident routier chez les personnes âgées (Withaar et al., 2000).

1.1.4.5. *Stratégies compensatoires*

Malgré ces faits alarmants, la très grande majorité des conducteurs âgés manifestent des comportements sécuritaires (Hakamies-Blomqvist, 1994; Lefrançois & D'Amours, 1997). Selon ces auteurs, la préservation de la compétence des automobilistes âgés serait grandement attribuable au déploiement de stratégies compensatoires (voir aussi De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000). Plusieurs observations renforcent cette position : les accidents des automobilistes de plus de 65 ans sont peu attribuables aux climats défavorables (route détrempée ou glacée, vents violents, mauvaise visibilité) et aux comportements à risques (vitesse, alcool, conduite nocturne ou aux heures de pointe; Messinger-Rapport, 2003). En outre, les conducteurs âgés utilisent moins la voiture que ceux des autres groupes d'âge, conduisent plus lentement et choisissent les routes et les moments les plus sécuritaires grâce à la souplesse de leur horaire (Charlton, Oxleya, Fildesa, Oxleya, Newsteada, Koppela, & O'Hare, 2006).

1.1.4.6. *Origine endogène et exogène des accidents routiers*

Les comportements préventifs de même que la tendance à conduire dans un environnement sécuritaire contribuent à réduire les risques d'accidents des conducteurs âgés. Conséquemment, il appert que les erreurs des conducteurs âgés entraînant des accidents seraient davantage d'origine endogène (Ballard, Bishu, McCoy, & Tarawneh, 1993). Afin d'explorer les distinctions entre les accidents commis par des conducteurs jeunes *versus* âgés, Daigneault et ses collaborateurs (2002) proposent deux catégories distinctes d'accidents routiers: des erreurs et des violations délibérées du code routier (voir aussi Blockey & Havley, 1995; Yan & Radwan, 2006). D'après cette dichotomie, les erreurs seraient associées à une défaillance principalement de nature cognitive

(perception, analyse des stimuli, formulation de la réponse). En contrepartie, les violations délibérées du code de la route seraient davantage le résultat d'une composante motivationnelle malveillante. Daigneault et ses collaborateurs (2002) allèguent que les accidents des jeunes conducteurs seraient associés à la manifestation de violations délibérées. En contrepartie, les accidents des conducteurs plus âgés seraient causés par des erreurs et non des violations délibérées du code routier. Cette position concorde avec les statistiques qui confirment que les conducteurs âgés commettent peu d'infractions puisqu'ils respectent habituellement le code de la route, ce qui contraste avec les jeunes conducteurs, pour qui les infractions au code prédisent assez fidèlement les risques d'accidents (Gebers, 1990). Daigneault et ses collaborateurs (2002) proposent qu'une part importante des difficultés des personnes âgées serait attribuable au vieillissement cognitif. Summala et Mikkola (1994) abondent en ce sens, à la suite de l'examen de 1943 rapports d'accidents routiers finlandais. En effet, ces auteurs observent une diminution, chez les conducteurs plus âgés, des accidents causés par la vitesse excessive et les comportements autodestructeurs (suicide). En contre partie, ces mêmes auteurs constatent une augmentation des accidents attribuables à des erreurs d'inattention dans la cohorte des conducteurs âgés.

1.2. Les Corrélats de la Compétence des Conducteurs Âgés

Plusieurs autres études affirment que certains processus cognitifs nécessaires à la conduite sécuritaire d'une automobile subissent d'importants changements chez l'adulte vieillissant (Anstey et al., 2005). Hänninen et ses collaborateurs (1996) ont examiné la prévalence d'un déclin cognitif significatif chez 403 personnes âgées de 68–78 ans, à l'aide de tests de mémoire verbale, de mémoire non verbale, de vitesse de traitement,

d'attention, de mémoire visuo-spatiale ainsi que des questionnaires de santé et de plaintes cognitives. Ces auteurs rapportent que plus du quart (26,6 %) des personnes âgées souffriraient d'un déclin cognitif significatif et d'altérations progressives du système visuel (Fisher, Duffy, & Katsikopoulos, 2000; Schneider & Pichora-Fuller, 2000). Une limitation progressive des habiletés essentielles à un comportement optimal au volant peut compromettre la sécurité routière de manière significative (Parker et al., 1995). Conséquemment, plusieurs auteurs ont exploré les variables pouvant prédire les accidents des conducteurs âgés (Anstey et al., 2005; Bieliauskas, 2005; Gagnon, Villemure, Montembeault, & Bélanger, 2006; Messinger-Rapport, 2003; Messinger-Rapport & Rader, 2000; Withaar et al., 2000; Murden & Unroe, 2005).

1.2.1. *L'Âge Chronologique*

Avant de se pencher sur des fonctions cognitives plus précises, il importe de déterminer si à lui seul l'âge chronologique peut permettre de prédire le risque d'être impliqué dans un accident de la route. Sans surprise, plusieurs auteurs en viennent à la conclusion que l'âge chronologique considéré de manière indépendante ne représente pas une variable fidèle des accidents routiers des personnes âgées (Ball & Owsley, 2003; Guerrier, Manivannan, & Nair, 1999; Langford et al., 2006; Preusser, Williams, Ferguson, Ulmer, & Weisten, 1998). Une étude longitudinale de Duchek, Carr, Hunt, Roe, Xiong, Shah et Morris (2003) indique que la compétence des conducteurs âgés dépend principalement de la santé neurologique des individus et moins de leur âge. En ce sens, les études sur le vieillissement cognitif et neurologique démontrent d'importantes différences interindividuelles chez les personnes âgées (Buckner, 2004; Head, Snyder, Girton, Morris, & Buckner, 2005; Hedden & Gabrieli, 2005). Plusieurs auteurs ont tenté

de distinguer l'évolution bénigne du vieillissement cognitif (vieillissement normal) d'une évolution maligne (démence; Levey, Lah, Goldstein, Steenland, & Bliwise, 2006; Morris, Storandt, Miller, McKeel, Price, Rubin, & Berg, 2001; Small, Gagnon, & Robinson, 2007). Flicker, Ferris et Reisberg (1991) ont proposé l'expression déficience cognitive légère (*mild cognitive impairment*; DCL) pour dépeindre les personnes qui représentent une altération cognitive modérée mais significative, pouvant évoluer vers une démence (Alzheimer, vasculaire, frontotemporale ou Corps de Lewy). La DCL se caractérise par des plaintes mnésiques, des altérations objectives de la mémoire, un fonctionnement cognitif général normal, des activités de la vie quotidienne intactes et l'absence de démence. Les personnes âgées atteintes de DCL évoluent vers la maladie d'Alzheimer dans une proportion de 25 à 30% (Levey, et al., 2006). Toutefois, dans une revue de la littérature récente, Mariani, Monastero et Mecocci (2007) en viennent à la conclusion qu'aucun critère du DCL ne permet de prédire fidèlement le passage vers l'état démentiel. Ces auteurs ajoutent que de multiples facteurs environnementaux et génétiques influent sur l'intégrité du fonctionnement cognitif. Conséquemment, il n'est pas étonnant de constater l'importante hétérogénéité dans le vieillissement des habiletés liées à la conduite automobile (Ball & Owsley, 2003; Anstey et al., 2005). De telles différences pourraient suggérer la présence possible d'un sous-groupe de conducteurs âgés ayant des comportements routiers déficients, qui, conséquemment, seraient plus à risque d'être impliqués dans des accidents routiers (Gagnon et al., 2006).

1.2.2. *Les Diagnostiques Médicaux*

Selon certains auteurs (Carr, Duchek, Meuser, & Morris, 2006; Dobbs, 2005; Rizzo et al., 2004), l'hétérogénéité du vieillissement quant aux habiletés liées à la

conduite automobile serait grandement attribuable à l'effet de certaines pathologies (par exemple : cardio-vasculaires) ou neurologiques (par exemple : Alzheimer). Dans une revue récente de la littérature, Dobbs (2005) identifie plusieurs maladies chroniques et incapacités fonctionnelles comme facteurs pouvant influencer la qualité d'exécution des conducteurs. En ce sens, de nombreuses études s'intéressant aux conducteurs âgés se sont attardées aux effets de la démence de type Alzheimer (Brown & Ott, 2004; Roche, 2005; Uc, Rizzo, Anderson, Shi, & Dawson, 2006) qui affectera 13,2 millions d'individus aux États-Unis en 2050 (Hebert, Scherr, Bienias, Bennett, & Evans, 2003). À ce titre, Friedland, Koss, Kumar, Gaine, Metzler, Haxby et Moore (1988) ont analysé le dossier routier de 30 personnes âgées souffrant d'Alzheimer et 20 personnes âgées en santé. Ces auteurs ont observé une prévalence des accidents routiers sept fois plus élevée chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer comparativement aux personnes âgées témoins. Toutefois, l'hétérogénéité observée dans l'ensemble de la population âgée est également manifeste dans le sous-groupe des individus atteints de démence. Selon O'Neill (1992; 1996), une minorité tout de même significative de personnes âgées atteintes de la maladie d'Alzheimer possède les habiletés nécessaires à la conduite automobile et ne présenterait pas un risque plus élevé d'accidents en comparaison aux autres conducteurs âgés (voir aussi Man-Son-Hing, Marshall, Molnar, & Wilson, 2007). En fait, les conditions médicales chez les personnes âgées (par exemple : l'épilepsie, le diabète, les maladies cardio-vasculaires, la démence et les altérations sensorielles significatives) ne corrèlent que modérément avec le risque d'être impliqué dans un accident de la route (Zhang et al., 2000; Cushman, Good, & States, 1991). Ainsi, aucune maladie ne représente un facteur prédictif de la compétence des automobilistes âgés, ce

qui rend périlleux l'identification des conducteurs âgés à risque d'accident sur la seule base du diagnostic médical (Jang et al., 2007; McKenna, Jeffries, Dobson, & Frude, 2004; Messinger-Rapport & Rader, 2000; Molnar, Byszewski, Marshall, & Man-Son-Hing, 2005).

1.2.3. *La Vision*

Les atteintes anatomiques visuelles sont nombreuses chez les personnes âgées, notamment l'opacification du cristallin, la diminution du diamètre de la pupille et les altérations du pigment maculaire ainsi qu'un amincissement des fibres nerveuses rétiniennes (Attebo, Mitchell, & Smith, 1996; Gagnon et al., 2006; Harwerth, Wheat, & Rangaswamy, 2008). Ces divers problèmes visuels liés au vieillissement affectent la vitesse du traitement des stimuli visuels, la sensibilité à la lumière, la vision dynamique, la vision à courte distance et l'exploration visuelle (Klein, Klein, & Linton, 1992). Considérant que la majorité de l'information perçue et traitée par le conducteur est précisément de nature visuelle (Simms, 1985), plusieurs auteurs ont exploré les déficiences visuelles des personnes âgées en lien avec la manifestation d'accidents routiers (Owsley & McGwin, 1999). Burg (1967, 1968, 1971) est le pionnier dans le domaine de la recherche des déficiences visuelles chez les conducteurs âgés. Ce dernier a colligé des observations sur un échantillon de plus de 17 000 conducteurs. Les résultats obtenus se sont avérés fort décevants puisque les corrélations entre les déficiences visuelles et les accidents et cela, en tenant compte de l'âge, n'ont atteint que 0,1 (Hills & Burg, 1974, voir aussi Lincourt, Folk, & Hoyer, 1997). L'intégrité du système visuel s'avère fondamentale à la compétence du conducteur âgé (Owsley & McGwin, 1999). Toutefois, les faibles corrélations entre les déficiences visuelles et les accidents routiers

chez les personnes âgées confirment la nécessité de considérer des processus cognitifs supérieurs.

1.2.4. *Les Autres Processus Cognitifs*

D'autres auteurs se sont attardés directement à une panoplie de processus cognitifs sous-jacents à la multitude et à la complexité des gestes réalisés par les conducteurs. Dans une revue de la littérature, Anstey et ses collaborateurs (2005) ont exploré la conduite automobile en lien avec divers processus cognitifs (audition, vision, attention, habiletés visuo-spatiales, vitesse de traitement, vitesse de réaction, mémoire et fonctions exécutives). Toutefois, les auteurs observent qu'aucun des processus cognitifs considérés individuellement ne permet de prédire le comportement des conducteurs âgés. À titre d'exemple, une déficience cognitive robuste observée chez les personnes âgées est la diminution de la vitesse de réaction (Salthouse, 1996, 2000). Le *Department of Transportation* des États-Unis (2000) a même observé cette lenteur à réagir à l'aide de mesures installées dans plusieurs automobiles. Ainsi, il a été possible d'observer des temps de latence considérablement plus élevés chez les conducteurs âgés lorsqu'ils doivent répondre aux signaux routiers ou exécuter des virages à gauche ou à droite. Toutefois, le temps de réaction simple ne constitue pas un facteur prépondérant de la manifestation d'accidents chez les conducteurs âgés. Bieliauskas, Roper, Trobe, Green et Lacy (1998) n'ont pas observé de relation significative entre le temps de réaction simple et la conduite sécuritaire sur route chez les personnes âgées avec ou sans démence. D'autres auteurs ont observé une corrélation modérée entre le temps de réaction et la compétence des conducteurs âgés, une association qui gagne en force lorsque le temps de réaction complexe (plus d'une réponse possible) est pris en compte (McKnight &

McKnight, 1999). Anstey et ses collaborateurs (2005) avancent que le vieillissement cognitif induit un ralentissement du traitement de l'information mais cette simple lenteur ne constitue pas une variable déterminante des accidents routiers des conducteurs âgés. Plusieurs auteurs avancent que le ralentissement simple pourrait être pallié par des stratégies compensatoires efficaces en situations routières (par exemple: vitesse plus lente, le maintien d'une distance accrue avec les autos qui précèdent; Brouwer, Withaar, Tant, & van Zomeren, 2002; Yan, Radwan, & Guo, 2007).

1.2.4.1. *Champs visuel utile*

Clay, Wadley, Edwards, Roth, Roenker et Ball (2005) ont sans aucun doute obtenu les résultats les plus probants quant à la prédiction des conducteurs âgés à risque d'accidents à l'aide d'une évaluation de nature cognitive (voir aussi, Edwards, Ross, Wadley, Clay, Crowe, Roenker, & Ball, 2006; Owsley, McGwin, & Ball, 1998; Sims, McGwin, Allman, Ball, & Owsley, 2000; Sims, Owsley, Allman, Ball, & Smoot, 1998). Cet instrument de mesure se nomme le Useful Field Of View (UFOV) et permet principalement d'évaluer la capacité d'un individu à tenir compte simultanément des éléments présents au centre et en périphérie du champ visuel (Clay, Wadley, Edwards, Roth, Roenker, & Ball, 2005). Plus spécifiquement, le UFOV est composé de trois sous-tests nommés : vitesse de perception, attention partagée et attention sélective. Dans la condition vitesse de perception, l'individu doit simplement identifier le stimulus (auto ou camion) présenté rapidement au centre de l'écran. Lors de la condition attention partagée, les participants doivent exécuter simultanément la première condition en plus de localiser une auto située en périphérie visuelle. Enfin, la condition attention sélective est similaire à la condition attention divisée, avec l'ajout d'objets distrayants. Dans les trois sous-tests,

le temps de présentation des stimuli est manipulé. Cette mesure s'avère l'indicateur le plus utilisé et le plus robuste de l'implication dans un accident de la route chez les conducteurs âgés (Anstey et al., 2005; Ball et al., 2006; Bédard, Leonard, McAuliffe, Weaver, Gibbons, & Dubois, 2006; Bieliaukas, 2005; Caird, Edwards, Creaser, & Horrey, 2005; Chaparro, Wood, & Carberry, 2005; Ball et al., 2006). Des études prospectives ont observé une augmentation de 87 % à 107 % du risque d'accident chez les conducteurs âgés ayant des résultats moindres au UFOV et plus particulièrement à la condition attention divisée (Owsley, Ball et al., 1998, Owsley McGwin et al., 1998; Sims et al., 2000). Toutefois, le UFOV à lui seul ne parvient pas à identifier fidèlement l'ensemble des conducteurs âgés à risque. En effet, ajouté à une mesure d'intégrité neurologique, le UFOV n'a pu expliquer que 20 % de la variance visant à prédire la manifestation d'accidents chez les personnes âgées (Owsley, Ball, Sloane, Roenker, & Bruni, 1991). Ainsi, le UFOV semble être un facteur important de la compétence des conducteurs âgés. Toutefois, il ne permet pas d'expliquer l'ensemble de leurs difficultés.

1.2.5. La Nature Multidimensionnelle de la Conduite Automobile

Considérant l'incapacité à identifier une mesure fidèle d'une conduite efficace et sécuritaire, plusieurs auteurs proposent une approche multifactorielle afin d'expliquer la vulnérabilité des conducteurs âgés (Anstey et al., 2005; Beliaukas, 2005; Gagnon et al., 2006; Withaar et al., 2002). Ces auteurs supposent que cette vulnérabilité émanerait de l'interaction entre plusieurs processus cognitifs, physiques et sensoriels sensibles aux effets du vieillissement. Ainsi, cette approche multifactorielle implique des processus que l'on peut qualifier de bas niveau, tels la vision, le temps de réaction, la motricité, la vigilance, etc. Par ailleurs, elle inclurait des processus cognitifs plus complexes, tels la

gestion simultanée des différentes sources d'information, la coordination d'une variété de réponses et l'inhibition de comportements non adaptés, etc. Cette perspective multifactorielle caractérise la nature de la conduite automobile puisqu'il s'agit d'une activité complexe exigeant la mobilisation de gestes précis découlant d'une interaction efficace entre les habiletés perceptives, cognitives et motrices (Gagnon et al., 2006; Michon, 1985). En effet, le conducteur doit interpréter différentes sources d'information (route, voiture et sensations internes) dans le but de générer un ensemble cohérent de comportements conformes à une conduite routière sécuritaire.

Des études récentes d'imagerie par résonnance magnétique témoignent de la complexité des habiletés cognitives liées à la conduite automobile (Carvalho, Pearlson, Astur, & Calhoun, 2006; Just, Keller, & Cynkar, 2008; Meda, Calhoun, Astur, Turner, Ruopp, & Pearlson, 2008; Spiers & Maguire, 2007; Walter, Vetter, Grothe, Wunderlich, Hahn, & Spitzer, 2001; Wester, Böcker, Volkerts, Verster, & Kenemans, 2008). Lors de ces études, les participants, placés dans un scanner à résonnance magnétique, devaient réagir à un environnement routier virtuel qui variait en complexité. Les principales aires du cerveau sollicitées lors de la conduite automobile sont liées à la vision (lobe occipital), aux habiletés visuo-spatiales (lobe pariétal) et à la motricité (aire pré-motrice supplémentaire et cervelet). En plus, Spiers et Maguire (2007) observent une activation du cortex frontal (aire motrice supplémentaire et aire prémotrice dorsolatérale) lorsque les participants doivent éviter une possible collision. Just et ses collaborateurs (2008) abondent en ce sens, indiquant que le lobe frontal serait particulièrement sollicité lors de situations d'urgence, où de multiples manœuvres doivent être exécutées rapidement.

Toutefois, l'interaction entre les processus cognitifs plus complexes et la conduite automobile chez les personnes âgées demeure méconnue (Anstey et al., 2005). Alors que plusieurs études se sont attardées sur les mécanismes cognitifs plus simples en lien avec les habiletés de conduite automobile (vision, temps de réaction, motricité), peu d'études ont fait une investigation des fonctions cognitives les plus complexes (planification, inhibition d'informations non-pertinentes; Anstey et al., 2005; Beliaukas, 2005; Weaver, Bédard, McAuliffed, & Parkkaria, 2009). Pourtant, certains indices suggèrent qu'une part importante des habiletés des conducteurs âgés s'expliquerait par les variations observables au niveau de l'intégrité de ces processus cognitifs plus complexes. En ce sens, les études sur l'accidentologie auxquelles nous avons référées précédemment font état des difficultés lors de l'accomplissement de manœuvres multiples nécessitant le traitement d'informations complexes et multiples.

1.2.6. *L'Approche des Fonctions Exécutives*

Cette dernière hypothèse s'inscrit dans une perspective plus large sur le vieillissement cognitif qui attribue une part importante des déficiences observées chez les personnes âgées à des fonctions cognitives complexes regroupées sous le vocable fonctions exécutives (Band, Ridderinkhof, & Segalowitz, 2002; Daigneault & Braun, 1993; Daigneault, Braun, & Whitaker, 1993; Hasher & Zacks, 1988; Mayr, 2001; Moscovitch & Winocur, 1995; West, 1996, 2000). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (2001) les fonctions exécutives dépendent des lobes frontaux du cerveau et comprennent les comportements centrés sur un objectif comme la prise de décision, l'abstraction de la pensée, la préparation et l'exécution de plans, la flexibilité mentale et le choix des comportements en fonction des circonstances (voir aussi Bonnaud, Boustou,

Osiurak, & Gil, 2004; Godefroy, 2003). Burgess (2000) ajoute que les fonctions exécutives seraient responsables de la gestion et de la supervision des processus cognitifs plus simples. Les fonctions exécutives incluent un ensemble d'habiletés mentales complexes comme la supervision et le contrôle des comportements, la suppression de l'information non pertinente, le raisonnement, l'actualisation de l'information en mémoire de travail, la planification et le contrôle des ressources attentionnelles (Fisk & Sharp, 2004; Kane & Engle, 2002).

1.2.6.1. *Données Neurophysiologiques*

L'importance des fonctions exécutives pour le vieillissement cognitif est supportée par plusieurs observations neuroanatomiques et neurobiologiques (pour une revue de la littérature voir Buckner, 2004). Les fonctions exécutives sollicitent principalement les lobes frontaux (la partie antérieure du cerveau) qui est la région corticale la plus vulnérable aux effets du vieillissement (DiGirolamo et al., 2001; Rosen, Prull, O'Hara, Race, Desmond, Glover, Yesavage, & Gabrieli, 2002; Shallice & Burgess, 1991). Malgré des différences interindividuelles importantes chez les personnes âgées, cette population présente une réduction plus importante et plus robuste du volume du cortex frontal comparativement aux autres régions corticales ou sous corticales (Raz, 2005; Raz & Rodrigue, 2006; Salat, Buckner, Snyder, Greve, Desikan, Busa, Morris, Dale, & Fischl, 2004). De plus, les personnes âgées présentent des changements dans l'activation cérébrale et ce, particulièrement au sein du cortex frontal (Grady & Craik, 2000; Logan, Sanders, Snyder, Morris, & Buckner, 2002). En effet, Sharp, Scott, Mehta et Wise (2006) observent une augmentation de l'activité cérébrale chez les personnes âgées dans les régions du cingulum antérieur et du cortex préfrontal latéral (voir également Davis,

Dennis, Daselaar, Fleck, & Cabeza, 2008). Ces changements de la neuroanatomie et de la neuroconnectivité des lobes frontaux chez les personnes âgées ont été associés directement à un déclin des fonctions exécutives (atrophie du cortex frontal : Gunning-Dixon & Raz, 2003; Raz, Gunning-Dixon, Head, Dupuis, & Acker, 1998; accroissement de l'activation du lobe frontal : Davis et al., 2007; Sharp et al. 2006).

1.2.6.2. *Données Neuropsychologiques*

Le déclin des fonctions exécutives associé au vieillissement a été mis en évidence par des résultats plus faibles à plusieurs tests psychométriques. Ainsi, les personnes âgées présentent en moyenne des résultats plus faibles aux tests Wisconsin Sorting Card Test (Plumet, Gil, & Goanac'h, 2005; Rhodes, 2004), Trail Making Tests A & B (Gunstad, Pauls, Brickman, Cohen, Arns, Roe, Lawrence, & Gordon, 2006; Korte, Horner, & Windham, 2002), Stroop Test (Shilling, Chetwynd, & Rabbitt, 2002; Wecker, Kramer, Wisniewski, Delis, & Kaplan, 2000) et le test de la Tour de Londres (Andres & Van der Linden, 2000; Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006). Par ailleurs, d'autres tâches élaborées en laboratoire mettent également en évidence le vieillissement des fonctions exécutives (Verhaeghen & Cerella, 2002).

Parmi les fonctions exécutives évaluées par ces tests, la composante attentionnelle prend une place de choix (Mayr, Spieler, & Kliegl, 2001; Verhaeghen & Cerella, 2002). Verhaeghen et ses collaborateurs (1998, 2002, 2003) ont réalisé plusieurs méta-analyses afin d'explorer l'importance des fonctions exécutives pour les processus attentionnels en situation de traitement simultané ou en alternance (attention switching). Selon ces auteurs, les personnes âgées qui obtiennent des résultats moindres aux tâches des fonctions exécutives présentent plus de difficultés lorsqu'elles doivent effectuer deux

tâches de façon simultanée ou lorsqu'elles doivent exécuter deux tâches en alternance. Selon Verhaeghen et ses collaborateurs, les personnes âgées ayant des fonctions exécutives déficientes auraient de la difficulté à distribuer efficacement leurs ressources cognitives lors de l'accomplissement de plusieurs tâches.

L'apparente sensibilité des fonctions exécutives face aux effets délétères du vieillissement a incité un groupe de chercheurs à étudier leur importance pour divers types de traitement de l'information (Davidson & Glisky, 2002; Fernandes, Davidson, Glisky, & Moscovitch, 2004; Glisky, Polster, & Routhieaux, 1995; Van Petten, Plante, Davidson, Kuo, Bajuscak, & Glisky, 2004). Pour ce faire, Glisky et ses collaborateurs ont développé une batterie de mesures neuropsychologiques qui permettent de catégoriser les personnes âgées sur deux axes (mémoire rétrograde et fonctions exécutives) et de dichotomiser les individus en deux groupes sur chacun de ces axes (fonctionnement optimal, fonctionnement faible). Dans une de leurs études, Glisky, Rubin et Davidson (2001) ont mesuré la flexibilité cognitive des personnes âgées en prodiguant ou non des consignes précises lors de tâches verbales et visuo-spaciales. Ainsi, dans la condition sans consigne précise, les participants devaient faire preuve de flexibilité et déployer de façon autonome des stratégies de traitement de l'information efficace. En contrepartie, lors de la condition avec consignes précises, les participants profitaient d'une structure afin de traiter l'information. Seules les personnes âgées ayant un fonctionnement exécutif « faible » ont présenté des résultats moindres aux tâches sans consigne précise comparativement aux autres groupes. En effet, les personnes âgées ayant un fonctionnement exécutif « optimal » obtiennent des résultats similaires aux jeunes adultes pour les mêmes tâches. En contrepartie, la dichotomie basée sur la mémoire

rétrograde n'explique en rien les résultats obtenus. Les auteurs observent donc une hétérogénéité importante au sein des personnes âgées quant au déploiement de stratégies de résolution de problèmes. En effet, les personnes âgées ayant des résultats plus faibles à certaines mesures des fonctions exécutives présentent des difficultés à résoudre un problème de façon autonome (Craik, 1986, 1994). Toutefois, cette rigidité manifestée par ce sous-groupe de personnes âgées peut être compensée par un support environnemental efficace (provision de consignes). Selon certains auteurs (Crawford & Channon 2002; Sinnott, 1989), le bagage de connaissances accru des personnes comparativement aux jeunes adultes influencerait leur approche lors de la résolution de problèmes. En effet, les personnes âgées tenteraient de solutionner un problème en se basant davantage sur des connaissances déjà acquises. En contrepartie, les jeunes adultes développeraient une solution en se fiant davantage à l'information présentée par le problème. Ainsi, certaines difficultés de flexibilité cognitive liées au vieillissement des fonctions exécutives semblent se révéler particulièrement dans un environnement non familier, dépourvu de structure et de repères.

Shallice et ses collaborateurs ont développé un modèle théorique de traitement de l'information qui tente d'expliquer les difficultés de flexibilité des personnes âgées dans le contexte du vieillissement cognitif vu de manière plus générale (Norman & Shallice, 1986; Shallice, 1988; Stuss, Shallice, Alexander, & Picton, 1995; voir également Fernandez-Duque, Baird, & Posner, 2000). Le modèle est composé de deux systèmes, soit le Système Objet (SO) et le Système de Supervision Attentionnel (SSA) qui est étroitement lié aux fonctions exécutives (voir Figure 2). Le SO est sollicité lors de comportements routiniers et simples dont la séquence de réponses formant le patron est

activée automatiquement. En contrepartie, le SSA intervient lors de la production de comportements multiples ou non routiniers qui nécessitent supervision et organisation. Plus précisément, un conducteur effectuant un trajet routinier dans un environnement simple conduirait sans déployer un effort de supervision particulier. Selon le modèle, le conducteur ferait appel au SO qui répondrait automatiquement aux demandes familières de l'environnement routier. Toutefois, si pendant le même parcours un enfant traverse imprudemment la rue et surgit face à la voiture, le conducteur devra amorcer un nouveau patron comportemental de façon rapide et précise. Selon le modèle de Shallice et ses collaborateurs, le conducteur devrait se désengager du SO et faire appel au système SSA afin de répondre à cette situation qui s'est complexifiée. Les fonctions exécutives via le SSA prendraient le relais du SO afin de déployer un patron de comportements inhabituels (freiner brusquement, changer de direction soudainement, klaxonner, etc.). Ainsi, les fonctions exécutives permettraient l'adaptation des processus plus automatisés afin de répondre adéquatement aux demandes de l'environnement plus complexes et nécessitant une plus grande flexibilité. Selon Norman et Shallice (1986), certaines personnes âgées présenteraient des fonctions exécutives déficientes, ce qui engendrerait une difficulté dans l'activation du SSA. Par exemple, les personnes âgées auraient davantage tendance à répondre aux demandes de l'environnement de façon plus rigide et automatisée, c'est-à-dire en sollicitant davantage le SO (Fernandez-Duque et al., 2002).

cognitives (Fastenau, Denburg, & Abeles, 1996; Kirasic, Allen, Dobson, & Binder, 1996; Salthouse, Mitchell, Skovronek, & Babcock, 1989), cette difficulté chez certaines personnes âgées à inhiber l'information non pertinente pourrait surcharger leurs capacités cognitives déjà limitées. De plus, cette surcharge de l'information serait encore plus importante lors de l'accomplissement de tâches complexes, où une quantité plus importante d'informations doit être inhibée (Hasher et al., 2001).

Le déclin des fonctions exécutives expliquerait donc une part importante des déficiences manifestées par les personnes âgées lors de l'accomplissement de multiples tâches. Plusieurs auteurs ont exploré l'importance relative des opérations mentales à la base des fonctions exécutives pour le vieillissement cognitif (Bugaiska, Clarys, Jarry, Taconnat, Tapia, Vanneste, & Isingrini, 2007; Cepeda, Kramer et Gonzalez de Sather, 2001; Keys & White, 2000; Salthouse, 2005; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003). En fait, plusieurs processus mentaux constitutifs des fonctions exécutives subissent les effets délétères du vieillissement. Selon Salthouse (1996, 2000), l'interaction entre les fonctions exécutives et le vieillissement cognitif serait grandement expliquée par un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information. Toutefois, d'autres auteurs prétendent que les fonctions exécutives contribueraient de manière indépendante au déclin cognitif attribuable au vieillissement (Bugaiska et al., 2007; West, 1996). À ce titre, Wecker, Kramer, Hallam et Delis (2005) ont étudié la variance unique des fonctions exécutives en utilisant une tâche de déplacement de l'attention. Pour ce faire, les auteurs ont contrôlé statistiquement la vitesse de perception, la motricité et le balayage visuel. Les auteurs observent un effet significatif des fonctions exécutives envers la capacité de déplacement de l'attention et ce, même après avoir contrôlé les capacités cognitives plus élémentaires.

Selon ces auteurs, les fonctions exécutives représentent un facteur unique du vieillissement cognitif, distinct des processus cognitifs plus élémentaires.

Toutefois, certaines études mettent tout de même en doute les évaluations psychométriques des fonctions exécutives (Salthouse et al., 2003; Salthouse, 2005). Ainsi, selon Salthouse et al., (2003), plusieurs composantes des fonctions exécutives (tels l'inhibition, l'actualisation et le partage de l'attention) présentent une faible validité de construit. Conséquemment, plusieurs interrogations demeurent concernant les caractéristiques uniques et partagées des fonctions exécutives avec d'autres processus cognitifs (Burgess, 1997; Rabbit, 1997). En fait, aucun auteur n'est parvenu à l'opérationnalisation des fonctions exécutives de façon convaincante, bien que plusieurs pistes soient envisagées (Fisk & Sharp, 2004; Kane & Engle, 2002; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, & Wager, 2000; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, & Hegarty, 2001). Dans une étude récente, Friedman, Miyake, Corley, Young, Defries et Hewitt (2006) observent une importante variabilité des interactions obtenues entre des composantes des fonctions exécutives et une mesure de l'intelligence. En effet, une forte interaction est observée entre l'actualisation de l'information et l'intelligence. En contre partie, les capacités d'inhibition et de commutation présentent de faibles interactions avec l'intelligence. Selon Burgess (1997), certaines caractéristiques propres aux fonctions exécutives font diverger ces fonctions d'une approche « ultra-cognitiviste », c'est-à-dire d'une décomposition rigoureuse de chacun des éléments constitutifs. Burgess (1997) explique d'une part que les fonctions exécutives permettent l'adaptation des comportements selon une situation et un certain niveau de familiarité. Ainsi, chacune des manifestations d'un comportement sollicitant les fonctions exécutives sera différente,

selon la pratique ou l'environnement. De plus, aucune décomposition d'un processus aussi complexe que les fonctions exécutives ne peut être totalement fidèle. Selon Burgess (1997), le fractionnement engendre une perte de connaissances dans l'enchaînement des processus. Ainsi, la nature des fonctions exécutives se définit non seulement selon ses éléments constitutifs mais également dans l'interaction de ces éléments. Enfin, les fonctions exécutives sollicitées par une activité seraient propres aux éléments constitutifs de cette activité. Toujours selon Burgess (1997), les fonctions exécutives présentent une faible validité écologique puisque l'exécution d'une même opération de ces fonctions (par exemple : l'inhibition) diffère dans des contextes distincts (Stroop *versus* commutation de tâche; Smith, Houston, Delis, Lansing, Jacobson, Cobell, Salmon, & Bondi, 2005; Taylor, Brammer, Toone, & Rubia, 2006).

Malgré ces limites, des auteurs ont utilisé des mesures des fonctions exécutives afin d'expliquer certaines difficultés à accomplir des tâches complexes dans la vie quotidienne (Cahn-Weiner, Farias, Julian, Harvey, Kramer, Reed, Mungas, Wetzel, & Chui, 2007; Rapp, Schnaider Beerli, Schneidler, Sano, Silverman, & Haroutunian, 2005). En effet, selon Cahn-Weiner, Malloy, Boyle, Marran et Salloway (2000), les tâches mesurant les fonctions exécutives sont plus sensibles au vieillissement des habiletés liées aux activités complexes de la vie quotidienne (consommation de médicaments, capacité à gérer l'argent ainsi que planification et préparation de repas) comparativement aux épreuves de mémoire, de langage, d'habiletés visuo-spatiales ou de vitesse psychomotrice.

1.2.6.2.1. *Conduite automobile et fonctions exécutives*

Lorsque les auteurs se servent des fonctions exécutives afin d'expliquer la qualité d'exécution des conducteurs âgés, les résultats obtenus sont moins concluants. Dans une

méta-analyse, Reger, Welsh, Watson, Cholerton, Baker et Craft (2004) ont tenté de préciser le rôle et l'importance des différents processus cognitifs envers la compétence des conducteurs âgés atteints d'Alzheimer (voir aussi Adler, Rottunda, & Dysken, 2005). Ces auteurs supportent l'importance des processus attentionnels et visuo-spatiaux (par exemple : UFOV) afin de prédire la compétence des conducteurs âgés. Toutefois, ils n'observent pas d'interaction significative entre les mesures des fonctions exécutives et l'évaluation sur route. Les résultats mettent plutôt en évidence une interaction significative entre les fonctions exécutives et les habiletés de la conduite automobile évaluées hors route (simulateurs de conduite automobile ou questionnaires sur les connaissances routières). Les auteurs expliquent ces résultats par une importante hétérogénéité des résultats obtenus aux mesures des fonctions exécutives. D'autre part, les auteurs observent une plus grande variabilité des évaluations obtenues avec des tâches sur route, ce qui diminue la puissance statistique. En contrepartie, les tâches hors route permettent de contrôler plusieurs variables confondantes (conditions routières, densité de la circulation, nombre de piétons) et d'isoler des habiletés précises de la conduite automobile. En somme, les fonctions exécutives ne rendent pas totalement compte des habiletés des conducteurs âgés. Reger et ses collaborateurs (2004) concluent que les fonctions exécutives seraient révélatrices de certaines habiletés spécifiques liées à la conduite automobile qui seraient davantage mises en évidence dans des tâches hors route.

Stutts, Stewart et Martell (1998) corroborent ces résultats. Considérant le dossier routier de 3238 conducteurs âgés de 65 ans et plus, ils n'observent aucune interaction entre les résultats aux mesures des fonctions exécutives et la manifestation d'accident. Toutefois, les conducteurs âgés avec un rang centile de 10 ou moins, sur la base d'une

batterie de tests cognitifs évaluant en partie les fonctions cognitives, présentent une probabilité plus élevée (1,5 fois) d'être impliqués dans un accident comparativement aux personnes âgées se situant au 90^e rang centile ou plus. Ainsi, les mesures des fonctions exécutives, ajoutées à d'autres tâches cognitives, pourraient permettre d'identifier une minorité des conducteurs âgés à risque d'être impliqués dans un accident de la route (voir aussi Ball et al., 2006; Lesikar, Gailo, Rebok, & Keyl, 2002; Szlyk, Myers, Zhang, Wetzel, & Shapiro, 2002).

Daigneault et ses collaborateurs (2002) ont été en mesure de préciser davantage les fonctions exécutives déficientes chez des conducteurs âgés ayant à leur dossier trois accidents ou plus sur une période de cinq ans. Les auteurs ont évalué les fonctions exécutives à l'aide des instruments de mesure Color Trail, Stroop, Test de la Tour de Londres et Wisconsin Sorting Card Test. Ils ont également examiné les habitudes de conduite automobile avec le *Self-Reported Measures of Driving Habits* et l'*Analyse des Comportements Routiers*. Plus précisément, les conducteurs impliqués dans des accidents présentent des capacités d'adaptation réduites qui se traduisent par une rigidité mentale (erreurs de persévération) ainsi que des difficultés de planification et de résolution de problèmes. Selon Daigneault et ses collaborateurs (2002), les déficiences observées se révéleraient particulièrement en situations complexes dans lesquelles les fonctions exécutives des conducteurs âgés seraient davantage sollicitées. Par ailleurs, les conducteurs âgés dont le dossier de conduite est entaché d'accidents manifestent une capacité d'introspection réduite, puisqu'ils rapportent subjectivement moins d'accidents comparativement à ceux rapportés objectivement à leur dossier. D'après plusieurs auteurs, un sous-groupe de conducteurs âgés démontrant un fonctionnement exécutif

réduit ne pourrait compenser pour leurs déficiences (visuelles, motrices, cognitives) puisqu'il n'en serait pas pleinement conscient, une observation allant à l'encontre des modèles d'adaptation du vieillissement (Baltes & Baltes, 1990). De plus, les conducteurs âgés ayant des résultats moindres aux mesures des fonctions exécutives pourraient présenter des difficultés à évaluer le niveau de risque de certaines situations, ce qui compromettrait leur capacité à réagir adéquatement en situation routière complexe.

En somme, les études en laboratoire témoignent d'une sensibilité des fonctions exécutives envers le vieillissement cognitif, particulièrement lors de tâches simultanées. Ainsi, un sous-groupe de personnes âgées pourrait présenter un manque de flexibilité cognitive lors de résolution de problèmes plus élaborés. Toutefois, les résultats sont moins probants lorsque l'on veut expliquer le rendement lors d'une tâche spécifique de la vie quotidienne comme la conduite automobile à partir d'une estimation du fonctionnement exécutif. En fait, seuls les conducteurs âgés ayant des comportements nettement déficients (plusieurs accidents) obtiennent des résultats distincts aux mesures des fonctions exécutives. Selon plusieurs auteurs, le peu de sensibilité des fonctions exécutives (et de leur évaluation) peut être expliqué par la difficulté de généraliser les résultats qu'offrent ces instruments (Burgess, 1997; Rabbit 1997). En effet, considérant la nature des fonctions exécutives (complexe et indissociable), ces processus cognitifs seraient évalués avec plus de justesse dans le contexte même de l'activité visée (Burgess, 1997; Bieliaukas, 2005; Withaar et al., 2000). Ainsi, selon Bieliaukas (2005), des résultats plus probants pourraient être obtenus en évaluant les fonctions exécutives des conducteurs âgés dans le contexte même de la conduite automobile (voir aussi Lee, Drake, & Cameron, 2002).

1.3. Modèles Cognitifs de la Conduite Automobile

1.3.1. *Modèle de Michon*

Afin de mieux comprendre le rôle joué par les fonctions exécutives au sein des habiletés de conduite automobile, il importe de considérer les modèles à teneur cognitive du comportement routier (Lee & Strayer, 2004; Michon, 1985; Sheridan, 2004 ; Withaar et al., 2000). Michon (1985) propose un modèle de la conduite automobile hiérarchique à trois niveaux (Figure 3; voir aussi Bekaris, Amditis, & Panou, 2003; Lee & Strayer, 2004; Withaar et al., 2000). Les niveaux se différencient par la nature des comportements routiers à accomplir et particulièrement par le délai de réponse. Le niveau stratégique nécessite une analyse du traitement de l'information de longue durée qui se quantifie en minutes ou même en journées. Les comportements relatifs à ce niveau incluent par exemple le choix de l'itinéraire et l'horaire du parcours. Ces comportements solliciteraient certaines facettes des fonctions exécutives dépourvues de contraintes temporelles telles la planification et l'organisation. Le niveau tactique est responsable de la supervision et de l'adaptation des comportements routiers en situation de conduite automobile. Ce niveau comprend les comportements contrôlés tel l'ajustement de la vitesse et de la distance avec la voiture qui précède selon le trafic routier. Ces comportements se situent habituellement dans une fenêtre temporelle de cinq à 60 secondes environ. Ainsi, le niveau tactique sollicite certaines fonctions exécutives mais avec une contrainte temporelle, telles la commutation de tâches, l'inhibition de réponse, l'attention divisée. Le niveau opérationnel comprend les comportements plus automatisés comme la manipulation du volant, la pression sur les freins et la pression sur l'accélérateur. Les comportements inclus à ce niveau sont de moins de trois secondes et

sollicitent des processus cognitifs plus élémentaires comme la vitesse de réaction. Selon Withaar et ses collaborateurs (2000), les différents niveaux du modèle de Michon interagissent constamment de sorte que les décisions prises à un certain niveau influencent celles prises à un autre niveau. De Raedt et Ponjaert-Kristoffersen (2000) ont appliqué le modèle de Michon afin d'évaluer l'importance des mécanismes de compensation du niveau stratégique et du niveau tactique auprès de conducteurs âgés. Les auteurs ont subdivisé les conducteurs âgés (bon ou mauvais conducteur), selon leurs résultats à un examen routier, la présence ou non d'accidents rapportés et le nombre de comportements compensatoires du niveau stratégique et du niveau tactique. Lors de cette étude, les comportements compensatoires du niveau tactique (p.ex. : conduire à vitesse réduite ou maintenir une distance plus importante avec le véhicule devant soi) sont associés à de meilleurs résultats à l'examen routier et à l'absence d'accidents rapportés. Toutefois, aucun résultat concluant n'est obtenu en ce qui a trait aux comportements stratégiques. Les auteurs proposent que les comportements compensatoires correspondant au niveau tactique contribuent à la compétence et à la prévention des accidents chez les conducteurs âgés. De plus, l'étude a inclus une mesure de la composante de planification des fonctions exécutives qui a été corrélée avec le nombre de comportements compensatoires stratégiques et tactiques. Les personnes âgées ayant des résultats plus élevés à une tâche de planification présentent plus de comportements compensatoires de nature tactique alors qu'aucune relation n'est observée entre la tâche et le niveau stratégique. Ces résultats suggèrent l'existence d'une relation entre la relative intégrité des fonctions exécutives et le traitement contrôlé, un qualificatif qui convient bien aux comportements du niveau tactique. Toutefois, la prudence est de mise lors de

l'interprétation de ces derniers résultats car l'étude ne comportait qu'une seule mesure des fonctions exécutives, en plus d'être un instrument peu documenté. Notons également qu'aucune corrélation n'est obtenue entre la mesure de planification et la performance des personnes âgées sur route. En somme, cette étude identifie les comportements compensatoires du niveau tactique comme un facteur qui non seulement contribuerait à la compétence des conducteurs âgés mais qui pourrait ultimement les protéger des accidents routiers. De plus, la manifestation des comportements compensatoires du niveau tactique chez les personnes âgées serait reliée à l'intégrité de leurs fonctions exécutives.

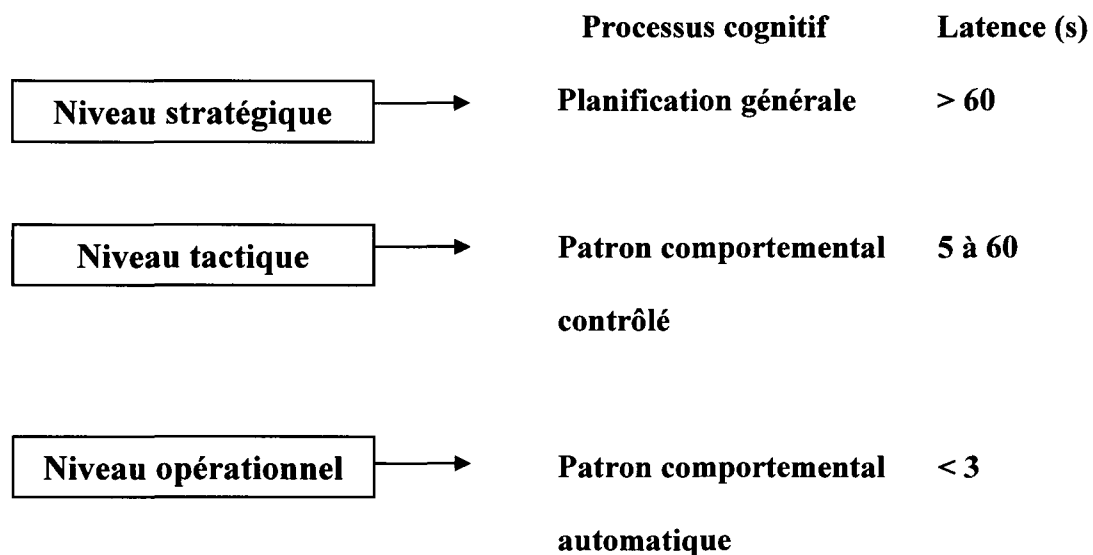


Figure 3: Représentation des niveaux stratégique, tactique et opérationnel du modèle de Michon 1985, incluant les principaux processus cognitifs impliqués et les temps de latence.

Lee et ses collaborateurs (2002) ont également étudié le modèle de Michon mais à l'aide d'un simulateur de conduite automobile. Comme le soulignent les auteurs, le simulateur de conduite automobile permet d'offrir le même environnement routier à l'ensemble des participants d'une étude, en plus de contrôler et de mesurer de

nombreuses variables avec précision. De plus, le simulateur de conduite automobile a démontré une bonne validité et une bonne fidélité envers l'évaluation des habiletés des conducteurs âgés sur route (Lee & Lee, 2005; Lee, Lee, Cameron, & Li-Tsang, 2003). Dans leur étude, Lee, Drake et Cameron (2002) ont comparé les performances des personnes âgées (moyenne d'âge de 68,9 ans) à celles des personnes très âgées (moyenne d'âge de 78,4 ans). Les variables mesurées dans le simulateur ont été subdivisées en deux groupes, soit les variables du niveau tactique (nombre d'accidents, utilisation des feux clignotants, respect des limites de vitesse et accomplissement d'une double tâche) et les variables du niveau opérationnel (erreur de direction, positionnement dans la voie et manipulation du volant). L'analyse des résultats révèle que seules les mesures du niveau tactique sont sensibles au vieillissement alors que les mesures du niveau opérationnel sont préservées. Selon les auteurs, les conducteurs très âgés semblent conserver les habiletés du niveau opérationnel qui ont été (sur)appries durant leurs nombreuses années d'expérience. Toutefois, les processus contrôlés du niveau tactique qui nécessitent un effort accru du traitement de l'information semblent se détériorer chez les conducteurs très âgés. Les auteurs concluent que les habiletés du niveau tactique de Michon devraient être étudiées davantage lors de l'analyse de la conduite automobile des personnes âgées puisqu'elles semblent plus sensibles au vieillissement.

1.3.2. *Modèle de Sheridan*

Sheridan (2004) a développé un modèle cognitif du comportement routier plus élaboré qui se divise en cinq composantes (voir Figure 4). D'une part, il y a la composante intention (I) qui comprend les objectifs désirés par le conducteur. L'intention première du conducteur consiste habituellement à l'atteinte d'un endroit déterminé, en empruntant un

parcours donné et ce, en prévoyant un temps raisonnable afin d'assurer une sécurité routière optimale (la sienne et celle des autres usagers). Il y a également l'élément sensoriel (S) d'où proviennent toutes les informations de l'environnement nécessaires à une bonne conduite automobile. L'élément sensoriel contient les perceptions visuelles, tactiles et auditives provenant de la route, du véhicule et de l'individu. L'élément décision (D) effectue le traitement de l'information provenant de l'élément S, en composant avec l'intention (I) élaborée. Les comportements appropriés afin de maintenir une conduite sécuritaire émanent de l'élément D qui permet l'arrimage des intentions de l'individu avec les exigences de l'environnement. L'élément véhicule (V) consiste en la dynamique physique du véhicule en interaction avec l'environnement routier. On y retrouve le comportement du véhicule avec ses diverses sources d'information (cadrans, signaux sonores) qui alimentent la compréhension du conducteur. L'élément activation (A) représente le substrat biologique et neurologique nécessaire à l'éveil, à la motivation et à la santé de l'individu.

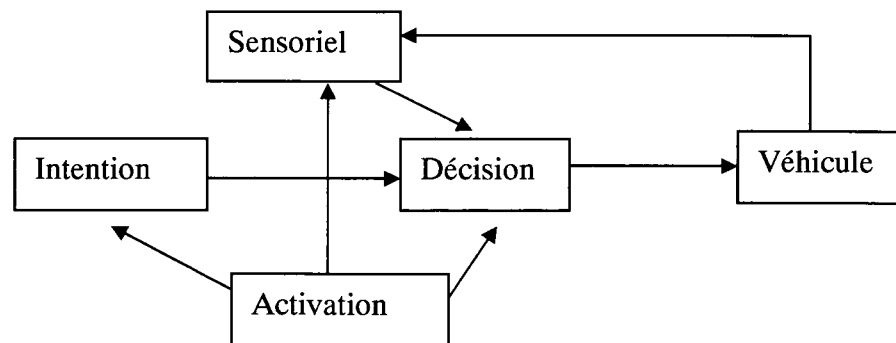


Figure 4 : Représentation de l'interaction entre les composantes : « intention, sensoriel, décision, véhicule et activation » du modèle de Sheridan (2004).

Les différents éléments (I, S, D, V et A) interagissent constamment pour permettre la production de comportements routiers adaptés. Selon Sheridan (2004), la production de comportements routiers n'est pas toujours machinale. En ce sens, il propose que l'adaptation à une situation exceptionnelle et complexe (p.ex.: éviter un enfant qui surgit soudainement face à la voiture) exige l'abandon du patron de comportement routinier afin de déployer un comportement plus approprié et moins familier. Ainsi, un conducteur doit parfois changer le comportement (sur)appris afin de répondre aux demandes de l'environnement routier immédiat. L'élément D permettrait l'adaptation du comportement routier selon les diverses demandes de l'environnement.

Sheridan (2004) offre davantage de précisions en ce qui a trait à l'élément D par le biais du modèle de contrôle optimal (Levison 1993; Levison, Simsek, Bittner, & Hunn, 2001). Selon ce modèle, les conducteurs disposeraient d'un ensemble de patrons comportementaux routiers qui seraient acquis avec l'expérience du conducteur. Un système permettrait l'élaboration et la gestion des patrons comportementaux routiers afin de réagir adéquatement aux situations nouvelles et complexes. Ce modèle s'apparente à celui de Shallice et ses collaborateurs expliqué précédemment alors que l'élément D est semblable au SSA (Norman & Shallice, 1986). Les conducteurs âgés sont habituellement plus expérimentés et disposent d'un grand nombre de patrons comportementaux routiers adaptés aux différentes demandes familières. Une partie des difficultés observées chez les conducteurs âgés serait attribuable à leur capacité plus limitée d'adapter leurs patrons comportementaux routiers aux situations complexes ou inhabituelles (Sheridan, 2004).

1.3.3. *Modèles de la Conduite Automobile et Fonctions exécutives*

Les deux modèles cognitifs de la conduite automobile présentés suggèrent une interaction entre différents processus afin d'expliquer le comportement routier. Selon ces modèles, des processus plus complexes influenceraient deux facettes de la conduite automobile chez les personnes âgées. D'une part, une flexibilité à faire face aux situations routières complexes ou non routinières (voir aussi Bieliaukas et al., 2005; Brown & Ott, 2004; Withaar et al., 2000). Plus précisément, les fonctions exécutives permettraient la gestion de sources diverses d'information et l'émission de plusieurs manœuvres de manière simultanée (Bonnaud, Boustou, Osiurak, & Gil, 2004). En contrepartie, des fonctions exécutives déficientes engendreraient une difficulté à changer un patron de comportement en fonction de nouvelles demandes de l'environnement (Belleville, Gilbert, Fontaine, Gagnon, Ménard, & Gauthier, 2006). Ainsi, le déclin des fonctions exécutives chez certains conducteurs âgés se traduirait par une incapacité à répondre adéquatement aux demandes accrues et nouvelles de l'environnement routier. Cette hypothèse est également en accord avec les résultats de l'accidentologie des conducteurs âgés (Chandraratna & Stamadiadis, 2002) de même que certains modèles du vieillissement cognitif présentés (Norman & Shallice, 1986; West, 1996).

D'autre part, les fonctions exécutives permettraient aux conducteurs âgés d'évaluer et de superviser adéquatement leurs comportements routiers, ce qui contribuerait à prévenir certaines de leurs difficultés (Daigneault et al., 2002; De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000). À ce sujet, certains auteurs définissent les comportements routiers en terme de charge cognitive, un concept qui correspond à l'effort mental à fournir pour répondre adéquatement à une situation (Hancock & Verwey 1997;

Tomprowski, 2003; Verwey, 2000). Habituellement, cette charge cognitive est évaluée subjectivement par les participants selon différentes composantes (effort, stress, demande physique, demande mentale, performance, pression temporelle). Toutefois, selon Bieliauskas (2005), l'effet du vieillissement sur les fonctions exécutives pourrait engendrer des lacunes dans l'évaluation subjective de certains conducteurs âgés, ce qui les empêcheraient d'adapter leur comportement routier en fonction de leurs limites et de la complexité de l'environnement routier (Daigneault et al., 2002).

Des études récentes ont exploré ces deux facettes des fonctions exécutives en situation de conduite automobile. En effet, certains auteurs ont exploré la flexibilité des personnes âgées à faire face à différentes situations complexes (Chaparro et al., 2005; Horberry, Anderson, Regan, Triggs, & Brown, 2006; Merat, Anttila, & Luoma, 2005; Reinach, Rizzo, & McGehee, 1997; Rizzo, McGehee, Dawson, & Anderson, 2001; Rizzo, Reinach, McGehee, & Dawson, 1997). De plus, certaines de ces études ont également examiné l'évaluation subjective des personnes âgées en lien avec leurs performances routières (Horberry et al., 2006; Merat et al., 2005).

En ce sens, dans une étude réalisée sur route, Hakamies-Blomqvist, Mynttinen, Backman and Mikkonen (1999) ont observé des difficultés chez certains conducteurs âgés à produire des patrons comportementaux impliquant plusieurs manipulations simultanées (par exemple : tourner, freiner et changer de vitesse). Ainsi, selon les auteurs, certaines personnes âgées agissent de façon séquentielle, c'est-à-dire qu'elles accomplissent les manœuvres les unes après les autres. Cette stratégie vise possiblement à réduire la quantité d'information à traiter et à simplifier le patron de réponses. Hakamies-Blomqvist et ses collègues émettent l'hypothèse que cette stratégie compensatoire ne

serait pas efficace lorsqu'une situation nécessite la réalisation de plusieurs manœuvres dans un temps restreint.

Rizzo et ses collaborateurs (Rizzo, et al., 1997, 2001, 2004) ont évalué l'effet de la complexité de l'environnement routier sur la conduite automobile des personnes âgées. Dans une étude récente (2004), ils ont évalué l'effet d'une tâche secondaire complexe (Paced Auditory Serial Addition Task) sur la conduite automobile de 82 personnes âgées avec une déficience de l'attention sélective et 78 personnes âgées sans déficience de l'attention sélective. L'accomplissement de la tâche secondaire a pour but d'augmenter la quantité d'informations à gérer et de solliciter la flexibilité cognitive des conducteurs (Rushworth, Hadland, Gaffan, & Passingham, 2003; Szameitat, Schubert, Muller, & von Cramon, 2002; Verhaeghen et al., 2003). Le parcours routier était un circuit urbain relativement simple incluant des courbes et des arrêts. Afin d'obtenir des données précises, les conducteurs âgés ont été évalués dans une automobile munie de plusieurs capteurs. Ainsi, la manipulation des différents instruments (volant, freins, accélérateur) et la vitesse ont été mesurées objectivement. Les résultats diffèrent entre les groupes seulement pour la vitesse qui est plus lente chez les personnes âgées souffrant d'une déficience de l'attention. Selon les auteurs, les personnes âgées avec une déficience de l'attention auraient déployé une stratégie compensatoire (conduite plus lente) afin de pallier à leurs ressources cognitives plus limitées. De plus, les auteurs observent une grande hétérogénéité au sein des deux groupes. Toutefois, les deux groupes de conducteurs âgés présentent des résultats similaires quant à leur capacité à respecter le code de la route et à répondre à la tâche secondaire. Selon les auteurs, la simplicité du parcours solliciterait davantage les processus automatiques de la conduite automobile.

Les auteurs émettent l'hypothèse qu'une tâche secondaire dans un environnement routier plus complexe (par exemple : des situations non familières) solliciterait davantage la capacité de flexibilité des conducteurs. Ainsi, de telles situations pourraient révéler des performances moindres de la part des conducteurs âgés manifestant un déclin des fonctions exécutives. Les situations complexes peuvent toutefois mettre en péril la sécurité des conducteurs et celle des autres usagers de la route.

Afin de pallier à cette limite méthodologique, Rizzo et ses collaborateurs (Rizzo et al., 1997; Rizzo et al., 2001) ont élaboré un évènement complexe et inattendu en utilisant un simulateur de conduite automobile. Cet évènement était inclus dans un parcours routier virtuel de 24 km. Arrivée à une intersection, une voiture située à la droite du participant néglige d'effectuer son arrêt obligatoire et bloque l'intersection. Le participant qui roule en direction de la voiture dangereuse doit l'éviter en déviant de sa voie. Lors de cette étude, 21 participants âgés souffrant de la maladie d'Alzheimer ont été comparés à 18 personnes âgées sans déficience cognitive. Les auteurs observent six accidents à l'évènement inattendu chez les personnes âgées atteintes de démence alors qu'aucune des personnes âgées saines n'entre en collision. De plus, les personnes impliquées dans un accident présentent des résultats moindres à un ensemble de tâches cognitives, dont le UFOV et le Trail-Making Test (Partie B). Cette étude révèle principalement des difficultés, chez certaines personnes âgées souffrant d'Alzheimer, à faire face à une situation non routinière et complexe en réalité virtuelle. De plus, ces performances dans le simulateur étaient corrélées avec des mesures cognitives (UFOV et le Trail-Making Test) qui prédisent les accidents sur route des personnes âgées.

Chaparro et ses collaborateurs (2005) ont tenté de reproduire ces résultats sur un circuit routier fermé. Pour ce faire, ils ont invité 14 participants jeunes et 14 âgés à conduire une automobile sur un parcours routier ponctué d'obstacles à éviter (bosses sur la route). Pendant le parcours, les conducteurs devaient également repérer des panneaux de signalisation et répondre à des tâches secondaires (visuelles et auditives). Les auteurs ont examiné la position latérale de l'automobile à l'aide d'une caméra, le temps total, les réponses aux tâches secondaires et le repérage des panneaux de signalisation. Les auteurs ont observé une diminution des habiletés de conduite automobile pendant la tâche secondaire pour l'ensemble des participants. Plus précisément, les capacités à se maintenir au centre de la voie, à éviter les obstacles et à repérer les panneaux de signalisation sont significativement réduites durant l'accomplissement de la tâche secondaire. Les résultats révèlent également une plus grande difficulté pour les personnes âgées à détecter les panneaux de signalisation situés en bordure du parcours. Cependant, les auteurs n'ont pas observé d'effet d'interaction entre l'âge des individus et l'évitement d'obstacles. Les auteurs expliquent ces derniers résultats par la conduite plus lente des personnes âgées, ce qui constituerait une stratégie compensatoire. De plus, ajoutons que les capacités de flexibilité semblaient peu sollicitées car les obstacles pouvaient être anticipés et le patron comportemental d'évitement à émettre était simple. En outre, les auteurs n'obtiennent pas d'effet d'interaction entre l'âge et les résultats aux tâches secondaires. En fait, la tâche primaire (c'est-à-dire la conduite automobile) et les tâches secondaires ne semblent pas avoir sollicité pleinement les ressources cognitives des personnes âgées puisque leur ratio de bonnes réponses lors de la tâche secondaire avoisine les 80%. Selon les auteurs, un environnement plus complexe et des situations

surprenantes plus difficiles pourraient affecter la conduite automobile des personnes âgées et l'accomplissement d'une tâche secondaire.

Horberry et ses collaborateurs (2006) ont mesuré l'impact de deux tâches secondaires, de la complexité de l'environnement routier et de trois événements inattendus sur la conduite automobile des personnes âgées. Pour ce faire, ils ont soumis 21 jeunes adultes (21-45 ans) et 10 personnes âgées (60 à 75 ans) à un parcours routier dans un simulateur de conduite automobile. Les tâches secondaires consistaient en une conversation téléphonique et une manipulation de la radio. Les auteurs ont modifié la complexité de l'environnement routier en variant les éléments présents dans le champ visuel (panneaux publicitaires, trafic, immeubles). De plus, les auteurs ont soumis les participants à trois situations inattendues qui variaient en difficulté : un piéton immobilisé en bordure de la route (simple), une auto qui recule vers la route (moyennement complexe) et un piéton qui traverse soudainement la rue (plus complexe). Les auteurs ont également mesuré la charge cognitive perçue par les participants dans les diverses conditions. Les résultats indiquent que les participants conduisent plus lentement dans un environnement complexe et lorsqu'ils doivent répondre à une tâche secondaire. Ainsi, les conducteurs manifestent des comportements compensatoires (vitesse réduite) lorsqu'ils doivent analyser une quantité importante d'information et produire plusieurs comportements de manière simultanée. De plus, les personnes âgées conduisent nettement plus lentement que les adultes dans des situations inattendues plus difficiles (automobile qui recule et piéton qui traverse la rue) mais ne commettent pas d'accident. Par ailleurs, les résultats obtenus aux tâches secondaires ne varient pas selon la complexité de l'environnement ni selon le groupe d'âge. Toutefois, la mesure de

l'exigence cognitive variait selon la complexité de l'environnement mais non selon l'âge. Horberry et ses collaborateurs (2006) observent donc une vulnérabilité des conducteurs âgés envers un environnement routier inattendu et complexe. Toutefois, ces différences liées à l'âge ne se sont pas reflétées dans l'évaluation subjective de la charge cognitive. Selon les auteurs, les situations inattendues présentées n'étaient pas suffisamment complexes pour engendrer des accidents. De plus, les auteurs se sont limités à la vitesse comme mesure de la performance de la conduite automobile alors que d'autres variables sont également sensibles au vieillissement et à la complexité de l'environnement routier (manipulation du volant, freinage, accélération; voir Hakamies-Blomqvist et al., 1999).

Merat et ses collaborateurs (2005) ont exploré des conditions semblables à celles de Horberry et ses collaborateurs (2006) à l'aide d'un simulateur de conduite automobile, mais également avec une automobile munie de différents capteurs. Dans les deux conditions (simulée et in vivo), le parcours routier était similaire et les tâches secondaires (auditives et visuelles) étaient les mêmes. Toutefois, seul le parcours virtuel présentait certaines situations complexes (par exemple : freinage rapide de l'auto qui précède). Les parcours sur route et virtuels étaient divisés en portions simples (par exemple : se maintenir au centre de la voie) et complexes (par exemple : virage à gauche). De plus, les participants devaient évaluer la charge cognitive perçue à différents moments durant le parcours. Contrairement aux études citées précédemment, les participants âgés ont parfois présenté des difficultés à accomplir les tâches secondaires. En fait, la complexité de la tâche secondaire et la complexité de l'environnement routier interagissent et affectent considérablement la performance des conducteurs âgés. Inversement, dans un environnement routier simple, l'effet d'une tâche secondaire simple est le même pour les

deux groupes d'âge. Toutefois, lors des environnements routiers où la tâche secondaire se complexifie, les conducteurs âgés présentent une variation plus importante du volant (difficulté à se maintenir au centre de la voie) et ce, malgré des stratégies compensatoires (réduction de la vitesse). Ainsi, Merat et ses collaborateurs (2005) corroborent les résultats obtenus par Horberry et al. (2006) ainsi que Chaparro et al. (2005). En effet, un environnement plus complexe semble affecter le comportement routier et ce, particulièrement chez les conducteurs âgés. Par ailleurs, les participants âgés semblent peu conscients de leurs difficultés puisqu'ils ne se désengagent pas de la tâche secondaire même en situation complexe, et aucun effet lié à l'âge n'a été observé avec l'évaluation subjective de la charge cognitive.

Ces études supportent les hypothèses énoncées par Bieliauskas (2005) stipulant que le vieillissement cognitif engendrerait des difficultés de flexibilité et de supervision chez certains conducteurs âgés. D'une part, Horberry et ses collaborateurs (2006) ainsi que Merat et ses collaborateurs (2005) constatent une réduction des habiletés routières des personnes âgées dans des situations complexes et lors de l'accomplissement d'une tâche secondaire. Ainsi, certains conducteurs âgés présenteraient des difficultés dans la gestion d'une quantité accrue d'information ainsi que dans l'émission de plusieurs comportements et ce, dans un temps restreint. Les personnes âgées semblent déployer des comportements compensatoires (conduite automobile plus lente et plus séquentielle) afin de mieux gérer cette surcharge cognitive (Hakamies-Blomqvist et al., 1999; Merat et al., 2005; Rizzo et al., 2004). Toutefois, ces mêmes auteurs s'interrogent quant à l'efficacité de ces stratégies compensatoires dans des situations encore plus complexes (Hakamies-Blomqvist et al., 1999; Merat et al., 2005; Rizzo et al., 2004).

Les études présentées révèlent également une lacune chez certains conducteurs âgés à évaluer leur propre performance (Daigneault et al., 2002; Horberry et al., 2006; Merat et al., 2005). En effet, les difficultés manifestées par les conducteurs âgés lors des situations complexes ne sont pas reflétées dans l'évaluation subjective de leur performance. En ce sens, certains auteurs accordent une importance particulière à l'évaluation subjective qui contribuerait au déploiement de stratégies compensatoires adaptées, particulièrement chez les personnes âgées (Daigneault et al., 2002; Merat et al., 2005). Ainsi, un conducteur âgé conscient de ses limites pourrait être en mesure d'adapter son comportement routier dépendamment des demandes de l'environnement. En contrepartie, les conducteurs âgés ayant de la difficulté à évaluer leurs habiletés routières pourraient dépasser leur capacité en situation complexe et produire des manœuvres dangereuses (Daigneault et al., 2002).

Les études qui ont évalué les fonctions exécutives et le comportement routier des personnes âgées présentent certaines limites. D'une part, les situations présentées n'ont pas posé un défi suffisamment important afin d'engendrer des manœuvres erratiques ou des accidents (Chaparro et al., 2005; Horberry et al., 2006; Merat et al., 2005; Rizzo et al., 2004). Ce manque de complexité se reflète également lors de l'accomplissement de la tâche secondaire, alors que les auteurs n'ont pu observer un désengagement dans l'accomplissement de ces tâches secondaires (visuelle et/ou auditive) et ce, même chez les personnes âgées (Merat et al., 2005; Rizzo et al., 2004). À ce titre, des situations plus inattendues (basées sur celle de Rizzo et al., 1997) requérant la manifestation de patrons comportementaux plus complexes pourraient solliciter davantage la capacité de flexibilité

et révéler des effets plus notoires du vieillissement (Merat et al., 2005; Rizzo et al., 2004).

Par ailleurs, aucune étude n'a pu détailler les comportements routiers affectés par le vieillissement lors d'un événement surprenant (manipulation du volant, pédale de frein ou d'accélérateur, position dans la voie, etc.). Plusieurs études ont observé seulement des différences de vitesse entre des groupes de participants (Chapparo et al., 2005; Horberry et al., 2006). Les études de Rizzo et ses collaborateurs (Reinach, Rizzo & McGehee, 1997; Rizzo et al., 1997, 2001) ont échoué dans l'identification des manœuvres qui distinguaient les personnes impliquées dans une collision des autres individus. Selon les résultats obtenus par Lee et ses collaborateurs (2002) et Hakamies-Blomqvist et al. (1999), l'accomplissement de manœuvres simultanées permettrait de faire ressortir les différences entre conducteurs âgés et jeunes conducteurs.

En somme, les lacunes de certains conducteurs âgés seraient davantage observées lors de situations requérant une analyse rapide d'une quantité importante d'informations et qui nécessitent la coordination de plusieurs manœuvres, comme en témoigne l'analyse post hoc des accidents de la route (Chandraratna & Stamatiadis, 2003), l'analyse des réactions sur route (Hakamies-Blomqvist et al. 1999) et sur simulateur de conduite automobile (Horberry et al., 2006). Ces difficultés pourraient être attribuables, du moins en partie, à des fonctions exécutives en perte d'efficacité étroitement liées à la production de comportements complexes moins adaptés (Bieliauskas, 2005; Daigneault et al., 2002). Par ailleurs, certains conducteurs âgés pourraient en venir à surestimer leurs habiletés et à s'exposer à des situations à risque (Daigneault et al., 2002; Horberry et al., 2006; Merat et al., 2005). Selon plusieurs auteurs, les situations reproduites sur la route et en contexte de

simulation ne comportent pas les niveaux de complexité qui permettent d'observer des réactions inadéquates de la part des conducteurs âgés (par exemple, des collisions) et par le fait même de circonscrire la source de leurs difficultés (Chapparo et al., 2005; Horberry et al., 2006 ; Merat et al., 2005 ; Rizzo et al., 2004). Finalement, la majorité des études qui a fait l'usage de la simulation ou de l'analyse sur route s'est intéressée à des indices de performance globaux (incluant moyenne, écart-type, valeurs maximales et minimales) au détriment d'indices de performance plus spécifiques qui pourraient être de meilleurs indicateurs des effets de manipulation reliés à la complexité de certaines situations routières. Une telle approche pourrait permettre de mettre à jour certains patrons comportements typiques des conducteurs âgés, tels ceux associés à la séquentialisation des réactions au volant.

2. CHAPITRE 1

2.1. Objectif

Lors d'une première étude, nous avons exploré la réaction des participants (âgés et d'âge moyen) face à des situations inattendues et complexes dans un simulateur de conduite automobile. Selon plusieurs auteurs mentionnés précédemment, certaines personnes âgées pourraient présenter un déclin des fonctions exécutives et être incapables de s'adapter face à des situations routières non familières et complexes (Beliaukas, 2005; Horberry et al., 2006; Merat et al., 2005). De plus, certaines personnes âgées pourraient présenter de la difficulté à évaluer leur propre performance en conduite automobile (Daigneault et al., 2002). Conséquemment, la performance routière simulée a été examinée en lien avec des mesures cognitives objectives (UFOV, tâche secondaire du simulateur et temps de réaction unique et au choix) ainsi qu'une mesure de la charge cognitive perçue (NASA-TLX).

2.2. Pré-Expérimentation

Considérant les études présentées (Horberry et al., 2006; Merat et al., 2005; Rizzo et al., 1997), nous avons élaboré des situations qui variaient selon la complexité des manœuvres à effectuer et selon le temps de réaction (expliqué ci-dessous). Afin de valider notre méthode, nous avons mené une pré-expérimentation durant laquelle cinq individus ont été soumis à une première version des situations. Un questionnaire semi-structuré nous a permis de recueillir les commentaires des participants (Annexe A). Sur la base de cette première rétroaction, nous avons apporté les ajustements nécessaires au parcours routier et aux différentes situations inattendues pour qu'elles soient suffisamment complexes et imprévisibles.

2.3. Articles de l'Étude 1

Les résultats obtenus lors de l'étude 1 ont été publiés par l'entremise de deux articles (Bélanger, Yamin & Gagnon, sous presse; Cyr, Yamin, Bélanger, & Gagnon, 2006). D'une part, nous nous sommes attardés à l'évaluation subjective de la charge cognitive et les résultats obtenus à la tâche secondaire du simulateur (Cyr, Yamin, Bélanger, & Gagnon, 2006). Ces mesures ont été considérées en fonction de la complexité de l'environnement routier virtuel et l'âge des participants. Puis dans un deuxième article, Bélanger, Yamin et Gagnon (sous presse) avons examiné les résultats obtenus avec les mesures primaires enregistrées par le simulateur (freinage, manipulation du volant, vitesse, etc.). Encore une fois, nous avons exploré ces variables selon la complexité de l'environnement et l'âge. De plus, lors du deuxième article, nous avons examiné si les mesures cognitives objectives et subjectives permettent de prédire la survenue d'accident chez les participants jeunes et âgés.

2.3.1. ARTICLE 1

Effect of old age on dual task performance during
driving simulations of varying complexities

Andrée-Ann Cyr¹, Stephanie Yamin¹, Alexandre Bélanger¹, Malcom Hing²,
Shawn Marshall², & Sylvain Gagnon¹

¹School of Psychology, University of Ottawa

²Elizabeth Bruyère Research Center, Ottawa

Référence: Cyr, A-A., Yamin, S., Belanger, A., & Gagnon, S. (2006). Effect of old age on dual task performance during driving simulations of varying complexities. *Advances in Transportation Studies: An International Journal*, 9, 5-20.

Author's note

This study has received approval from the University of Ottawa Ethic's review committed and was conducted in compliance with the regulations to govern research on human participants. This study was financially supported by an Ontario Neurotrauma Foundation grant to Dr. Sylvain Gagnon. Alexandre Bélanger is funded by the National Sciences and Engineering Research Council, Andrée-Ann Cyr by CanDRIVE and Stephanie Yamin by the Fonds Québécois de Recherche sur la Société et la Culture.

Abstract

This study examines the effects of road events and age on cognitive load in a simulated environment. Fifteen young and 15 older adults were exposed to 4 scenarios in a STISIM driving simulator including roadway events that were: 1) normal (free driving), 2) complex (turns) and 3) unexpected (car incursion). Cognitive load generated by the events was assessed through detection accuracy and reaction time on a dual task and ratings on the NASA-TLX. Results showed that older adults displayed longer reaction times to the dual task and reported higher NASA-TLX ratings than young adults while facing complex and unexpected road events. This study demonstrates the validity of the cognitive load approach for understanding older drivers' reaction to roadway events.

Although older drivers demonstrate low absolute numbers of crashes, they have been reported to have relatively high crash rates and fatality rates when distance driven is considered (Evans, 1988; Ryan, Legge, & Roseman, 1998; Meuleners, Harding, Lee, & Legge, 2006). This is of concern seeing as demographic data indicates that persons over the age of 65 are the fastest growing segment of the population in industrialized countries (OECD, 2001). In addition to higher crash rates, the empirical evidence indicates that accident type varies with age (Charness & Bosman, 1992). Indeed, accident analyses reveal difficulties for older drivers in complex driving situations (McGwin & Brown, 1999). Older drivers are over represented in multi-vehicle crashes and a significant proportion of their accidents happen while turning left at an intersection or during lane changing, which are situations where cognitive demands are likely higher (Chandraratna & Stamatiadis, 2003; Hakamies-Blomqvist & Wahlstrom, 1998). Moreover, crash analysis studies show that older drivers often tend to be at fault when involved in collisions (Cooper, 1990; Merat, Antilla, & Luoma, 2005).

However, older drivers are also known to display strategies that will prevent them from driving in challenging contexts. They either regulate their driving (Hakamies-Blomqvist & Wahlstrom, 1998) or self-impose restrictions on their driving routine (De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000). For instance, they tend to avoid complex driving conditions such as driving at night, during rush hours, in bad weather, or in unfamiliar areas (Lefrançois & D'Amours, 1997). Nevertheless, even if older adults are most likely the safest driving cohort with regards to their driving experience and habits, it is still not understood why they are likely to generate harmful driving errors.

It is legitimate to believe that this increased risk could be partly caused by age-related declines in cognitive, perceptual, and physical abilities that are commonly associated with aging (Anstey, Wood, Lord, & Walker, 2005). The self-regulation of one's driving routine, the driving experience as well as secure driving behaviours might not be sufficient to fully compensate for the above limitations, partly because the driver only represents one piece of the cognitive driving puzzle. One aspect that cannot be neglected is the fluctuating nature of the cognitive challenge inherent to the driving environment, which on occasion may vary unexpectedly (Sheridan, 2004; Michon, 1985). As indicated above older drivers' errors may be resulting from conditions that surpass their capacity to process driving inputs and to react to them adequately. In fact, older adults are known to have more limited processing resources than the young and middle-aged adults as revealed by their performance on divided attention tasks or when tasks are combined into multi-task situations (Verhaeghen & Cerella, 2002). Driving is undoubtedly a dynamic task that requires proper perception of driving-related inputs, proper decision making and on time and accurate responses to multiple sources of information (Bieliauskas, 2005; Trick, Enns, Mills, & Vavrik, 2004).

Therefore, the understanding of the challenges faced by older drivers rests on the appreciation of the interactions between the individual (capacity) and the environment (complexity; Sheridan, 2004; Michon, 1985). Because the demands coming from the environment change continuously and because the driver's capacity is the sum of a combination of characteristics (experience, aptitudes, cognitive and physical status), assessments of the driver's competency to drive based on single cognitive, perceptual, or even physical functions have been deceptive (Anstey et al., 2005; Gagnon, Villemure,

Montembault, & Bélanger, 2006). In addition, due to the dramatic variability of cognitive changes seen in older adults (Hakamies-Blomqvist & Henriksso, 1999) it becomes even more difficult to circumscribe the minimal cognitive requirements that insure safe driving. Together with other researchers (Anstey et al., 2005; Hancock & Scallen, 1999), we believe that it is perhaps best to focus less on the specific cognitive or physical limitations, but rather approach driving in terms of the required mental effort (cognitive load) underlying safe driving. Cognitive load is portrayed as the cognitive demand imposed by a task; a complex task translates into heavy cognitive load thus necessitating more cognitive resources than would a simple task (Tomprowski, 2003). This concept captures the sum of several influences affecting cognitive load and consequently driving such as cognitive limitations, expertise, and familiarity together with the complexity of the driving environment.

The cognitive load perspective allows researchers to predict the fluctuation of cognitive demands generated by road events, car associated inputs and distractions which could ultimately lead to harmful driving errors (Engstro, Johansson, & Ostlund, 2005; Hancock & Verwey, 1997; Recarte & Nunes 2003). Cognitive load varies according to road situations and dual tasks have been the privileged method employed to assess the driver's cognitive load. When drivers are instructed to allocate enough resources to a primary task (e.g. driving), performance on a dual task reflects changes in primary task resource demand. Verwey (2000) employed a similar task to explore visual and mental workload in young, middle-aged and older drivers during a driving task. In his study, the drivers were exposed to ten urban on-road situations of varying complexities (e.g. roundabouts, left and right intersections) in order to assess the visual workload generated

by each situation as measured by a visual detection task. A secondary auditory addition task was also included to assess mental workload. Results indicated that the complexity of the road situation was a major determinant of visual and mental workload and that the processing resources of older drivers are somewhat more limited than those of younger and middle-aged drivers. Indeed, auditory addition performance of older participants was found to deteriorate more than that of younger participants during driving. In a study by Merat, Anttila and Luoma (2005) assessing the utility of in vehicle information systems, young and older drivers were exposed to three different scenarios, repeated three times each, which varied in workload demand and difficulty by means of a driving simulator. In addition, the participants had to perform two secondary tasks, one visual and another auditory. Findings indicated that older persons performed more poorly on the secondary tasks than did the young adults. More precisely, this age related difference was more pronounced in complex environments requiring more cognitive resources. However, the authors observed that both groups performed with an accuracy of approximately 50% or more, which is considered reasonably adequate. The authors recognized a need to increase the level of difficulty of the secondary task in order to establish whether the drivers (young or old) would eventually abandon the secondary task in favour of safe driving. It is noteworthy that subjective measures of cognitive load have also proved to be reliable assessment tools. In a similar study, Horberry, Anderson, Regan, Triggs and Brown (2006) assessed the effect of in-vehicle tasks (visual and auditory), road complexity (simple or complex) and hazards on performance measures and perceived workload by means of the NASA-TLX measure. The NASA-TLX was shown to be sensitive to distractions. These findings are congruent with the stipulation that mental

workload will be influenced by the road environment as well as the cognitive resources of the driver. Furthermore, the above studies demonstrate that both the dual task and the NASA-TLX were shown to be reliable assessment tools of workload.

The cognitive load approach appears to be a powerful tool to interpret older drivers' behaviour in complex driving situations known to cause greater difficulty to older drivers (Chandraratna & Stamatiadis, 2003). However, there is still limited information on exactly how older drivers react towards other challenging road events (Rizzo, Stierman, Skaar, Dawson, Anderson, & Vecera, 2004) especially those that cannot be tactically prevented. Because of cognitive limitations (visual impairment, space processing impairment, reduced attention capacity, etc.), some older drivers may face greater challenge at reacting properly to hazardous and unexpected road events that are likely to occur in their own neighbourhood or on a familiar road segment. However, it is impossible to assess older adults in situations that could likely lead to crash in on-road testing. Indeed, most driving tasks executed on-road do not reach a high enough level of complexity which may compromise chances to detect strategic, tactical or operational impairments (Rizzo et al., 2004). Alternatively, crash analysis has been the privileged method with which to investigate the nature and causes of older adults' accidents. However, a posteriori crash analysis is a limited tool due to the fact that real-life crashes are sporadic, uncontrolled events (Rizzo, Reinach, McGehee, & Dawson, 1997). Crashes are also underreported and crash records can often be incomplete.

An alternative paradigm consists in studying the driving behaviour of older adults in simulated environments. The driving simulator has been shown to be a reliable and valid assessment tool for older driver competences (Lee, Drake, & Cameron, 2002) and allows

drivers to make decisions and take actions that can potentially have dangerous consequences (Allen, Stein, Aponso, Rosenthal, & Hogue, 1990). The driving simulator is likely the most viable method with which to assess cognitive load in reaction to unexpected road challenges (Merat et al., 2005; Rizzo et al., 2004; Rizzo et al., 1997).

The goal of the present study was to investigate the effects of road events and age on cognitive load in a simulated environment by means of a dual task and perceived workload. More specifically, young and older participants were exposed to four scenarios which included events that were 1) normal (e.g. free driving), 2) complex (e.g. right and left hand turns) and 3) unexpected (e.g. illegal car incursion). The unexpected events were designed to pose a time-pressured collision threat. During each of these events, participants were required to detect shape-shifting symbols in the periphery of the screen by manually indicating their location with the flasher. Reaction time to the symbols and hit rates were recorded. Drivers were also exposed to a control scenario that included normal and complex events only. In addition to the dual task data, subjective measures of workload generated by the unexpected events were also collected following each scenario by means of the NASA-TLX.

Based on the findings described above, we hypothesized that older adults would perform significantly worse on the dual task during complex and unexpected events than their younger peers. Further, we predicted that older adults would display even greater impairment in unexpected events due to the increase in complexity, the necessity to mobilize cognitive resources and the impossibility to plan the occurrence of the event. However, we expected dual task performance to be similar between young and older adults while they face simple road conditions (Schlag, 1993). Similarly, the NASA-TLX

data generated by the unexpected events should reveal higher cognitive workload for older adults. It is also expected that both cognitive load measures will correlate with one another.

Method

Participants

Fifteen young adults and fifteen older adults volunteered to participate. The young adults sample included 6 men and 9 women between the ages of twenty and forty-five years ($M = 30$, $SD = 5.11$). The older adults sample included 6 men and 9 women over the age of 65 years ($M = 74.85$, $SD = 6.98$). Initially, 20 older drivers participated in the study. However, five older participants did not finish the testing due simulator sickness. All participants were required to hold a valid driver's licence and have cumulated at least five or more years of driving experience to participate in the study. All participants were in good mental and physical health and had no antecedents or neurological, psychiatric or substance abuse problems. The young adults were recruited from the University of Ottawa and the general community through bulletin boards and local newspapers. The older adults were recruited through notices in the local newspaper and a senior community centre. All participants were compensated twenty dollars in exchange for their participation.

Materials

Driving simulator

A STISIM Drive simulator (version 1) produced by Systems Technology Inc. was used to study the behaviour of participants in simulated driving (Allen et al., 1990). The STISIM Drive (Figure 1) displays a simulated roadway environment on a wide screen

(four computer systems required) by means of three NEC projectors, giving the driver a 80 degree field of view. The software was run on Windows NT operating system and Intel x86 Family model computer. This simulator is a high fidelity technique for creating laboratory tasks relevant to the psychomotor and cognitive demands of real world driving through advanced vehicle dynamics and image generation. The simulator allows the design of urban and suburban roadway environments including interactive vehicles on all lanes, buildings, traffic control devices, pedestrians etc. The simulator records speed, lane deviation, yaw rate, steering angle, number of collisions, speed violations and other driving related parameters. In addition, the driving simulator provides the option of presenting stimuli that can be used for dual-task testing. The default system allows symbols to be presented in the periphery. They consist in diamonds that shift shape to triangles. The participant is asked to react to shape shifting as soon as it is detected. The simulator is completed with a steering wheel, brake, accelerator pedals, an odometer as well as three rear-view mirrors. The simulated environment is supplemented with realistic audio effects providing acceleration cues.

 Insert Figure 1 about here

The simulator and projectors are housed in a ventilated testing room at the Laboratory of Cognitive Aging at the University of Ottawa. The testing room communicates with an adjacent control room. A two-way mirror window allows the experimenters to monitor testing from the control room. Also, an unobtrusive video camera was mounted in the back upper corner of the testing room and relayed the roadway display on a small video screen in the control room.

Driving Scenario

Each participant drove approximately 8 kilometres on a simulated suburban road with interactive traffic. The scenario consisted of a two-lane road gradually becoming a four-lane highway. The driver interacts with cross traffic, oncoming vehicles as well as pedestrians. This same scenario was repeated five times with variations in traffic and pedestrians. Participants first drove through the control scenario which did not include an unexpected event. For the following four scenarios, an unexpected event was incorporated. The unexpected scenarios were as follows:

1) *Car incursion:* As the driver approaches a two-way stop intended for cross traffic in the first quarter of the scenario, a vehicle does not heed the stop sign and breaches the driver's path. This event was programmed so that if the driver keeps constant speed, the crossing vehicle will not adhere to traffic signals and collide with the driver. As a result, the driver assumed that the vehicle would respect traffic signals and was inadvertently cut off by the illegally incurring vehicle as he crossed the intersection. The driver is forced to brake abruptly and/or swerve to avoid colliding with the vehicle.

2) *Pedestrians crossing:* The driver approaches a group of static pedestrians on both sides of the road in the second quarter of the scenario. Two pedestrians at 6.25 and 6.4 metres from the sideline of the road abruptly run across the street at a speed of 5 km/h and were programmed so that the collision time between the driver and when the pedestrians first begins to run across the road was of 1.5 seconds. This was based on the velocity of the driver's vehicle and distance from the pedestrians. The driver must brake abruptly and/or swerve to avoid colliding with the pedestrians.

3) *Car overtaking*: The driver comes to face an oncoming truck in the other lane that is occluding a vehicle behind it in the third quarter of the scenario. The occluded vehicle swiftly moves into the driver's lane in an attempt to pass the truck, thus blocking the driver's path. The event is timed so that when the closure time between the occluded vehicle and the driver's vehicle is of three seconds, the occluded vehicle travels three metres into the driver's lane at a speed of 15 m/s. When the two vehicles are within three seconds from each other, the vehicle travels back into its lane (and in front of the truck) at the same speed. The driver must break and/or swerve to avoid colliding with the vehicle.

4) *Parked car incursion*: The driver approaches a parked car on the right hand side of the road in the third quarter of the scenario. When the parked car and the driver's vehicle are within 2.2 seconds of each other, the parked car swiftly pulls 3.75 metres into the roadway at a speed 4 m/s faster than the driver's speed, obstructing his path. The driver must break and/or swerve to avoid colliding with the vehicle.

For all scenarios, the dual task was only activated during two quarters of the route. The dual task was activated for the quarter including the unexpected event and again during the alternating quarter. Participants were notified by a recorded voice when these dual task quarters were beginning and ending.

Cognitive measures.

All older participants were administered the Mini-Mental State Examination (MMSE) (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) to screen for dementia and severe cognitive impairments. The NASA-TLX was chosen as a measure of subjective cognitive load. The NASA-TLX is a standard subjective workload measure and is regarded as sensitive as and more reliable than other subjective rating scales (Hill, Iavecchia, Byers, Bittner,

Zaklad, & Christ, 1992). The NASA-TLX is also one of the most widely used mental workload techniques in human factors research and it has been employed in research conducted with older adults (Sharit, Czaja, Nair, Hoag, Leonard, & Kilsen, 1998). This instrument is comprised of six subscales with possible scores ranging from one to ten: 1) mental demand; 2) temporal demand; 3) physical demand; 4) effort; 5) frustration; 6) performance. A weighting procedure is included in the complete NASA TLX but simply taking the ratings on each of the six subscales yields similar information (Byers, Bittner, & Hill, 1989). Participants were also tested on other cognitive tests that are not unveiled in the context of the present article because they do not provide valuable information in regards to cognitive load.

Procedure

Prior to experimentation, participants were administered the Mini-Mental State Examination and filled out a medical and demographic questionnaire to screen for neurological, psychiatric, motor or substance abuse disorders that could interfere with driving. Participants were explained what the study would entail and its global objectives but were kept uninformed about the presence of unexpected events in the simulated scenarios. After informed consent was obtained, participants were administered the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ; Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, 1993) to screen for possible symptoms of motion sickness. Participants were also urged to inform the experimenter at any time if they felt any symptoms relating to motion sickness such as nausea, vertigo, dizziness, fullness of the head etc. If this happened, simulation was aborted immediately.

Afterwards, a trained research assistant ensured that the participant was well adjusted in the simulator seat and introduced the components of the simulator e.g. accelerator, decelerator, steering wheel, flasher and rear-view mirrors. This was followed by a 20 minute training session of increasing complexity which familiarized participants with the manoeuvres of the simulator. Training provided practice in four areas: 1) Speed keeping; 2) Steering; 3) Braking; 4) Turning. In the speed keeping practice phase, roadway design was kept bare with the exception of occasional houses and oncoming vehicles on a two-lane road. Participants were encouraged to adhere to the speed limits which got gradually higher (40, 50 and 60 km/h). In the steering portion of the practice, participants negotiated curves on a two-lane road with oncoming vehicles while keeping a speed of 50 km/h. In the braking stage, participants drove on a two-lane road at a speed of 50 km/h and were exposed to stop signs, signal lights, oncoming traffic, cross traffic and a more complex simulated environment. Finally, in the turning stage, drivers were told to maintain a speed of 50 km/h on a road similar to the third segment but were instructed to turn at intersections when indicated by a recorded voice to do so. As the participant progressed through the simulator training, the research assistant provided feedback about the manoeuvring and handling of the simulator and instructed the participant on speed and lane keeping. Participants were instructed to keep their speed within + or – 5 km/h of designated speed limits at all times. They were also told to respect traffic signals and to assume that other vehicles did so as well.

As an additional training segment, participants were instructed on how to react to the dual task symbols. Diamond shape symbols were continually displayed in the periphery of the driving scene, one on the right and one on the left at an angle of 25°. When the dual

task was activated, a diamond shape on either side could shift shapes to a triangle. The driver was instructed to detect the shape shift by indicating manually with the flasher whether it was occurring on the left or right diamond. The symbol remained shifted for a maximum of five seconds after which it resumed its diamond shape. Drivers were asked to respond as quickly and accurately to the dual task as possible but were reminded that driving was their primary task. In the control scenario as well as in the unexpected event scenarios reaction time to the dual task was recorded where smaller scores reflected greater performance. Detection accuracy was also recorded where higher scores reflected greater performance.

Once the training completed, the SSQ was administered again to monitor for symptoms of motion sickness. Experimentation commenced and participants were first exposed to the control scenario. The remaining four scenarios followed and the testing sequence was counterbalanced between participants. For all scenarios, a recorded voice instructed the participants on the route to take and this route was identical throughout. The experimenter was in the control room during experimentation and could supervise the testing from the two-way mirror window and view the roadway from the video screen. If the participant crashed, the simulation would recommence from where the collision occurred. After each scenario, participants were asked to complete the NASA-TLX in regards solely to the unexpected events. For the control scenario, the NASA-TLX scores represented the workload generated by the entire scenario. The NASA-TLX is comprised of six subscales: Mental Demand, Physical Demand, Temporal Demand, Effort, Frustration and Performance (Table 1). Following testing, participants were fully

debriefed about the objective of the study and were administered an exit interview to address concerns.

Results

The purpose of the primary analysis was to calculate the effect of driving complexity on dual task responsiveness in older and younger participants. Two 2 X 3 mixed ANOVA's (Analysis of Variance) were conducted with age as the between subjects factor (Young, Old) and driving complexity (Normal, Complex, Unexpected) as the within subject factor. In the first analysis reaction time (RT) to symbol shape shift in the secondary task, measured in seconds, was used as the dependant variable, while the second analysis was executed using detection accuracy to shape shift as the dependant variable.

The ANOVA performed on RT revealed that sphericity was not assumed ($p = .01$), therefore, the Huynh-Feldt correction was used. The analysis demonstrated that there was a significant main effect of driving complexity, $F(1.69, 47.42) = 45.02, p < .001$. Specifically, through within subjects difference contrasts it was found that RT in the Normal environment ($M = 2.50, SD = \pm .90$) was significantly faster than the RT observed in the Complex environment ($M = 3.18, SD = \pm .98$), $F(1, 28) = 60.85, p < .001$, and that RT observed in the Unexpected environment ($M = 3.69, SD = \pm .94$) was significantly longer than both the Normal and the Complex environments RTs, $F(1, 28) = 40.14, p < .001$. The analysis also demonstrated that there was a significant main effect of age, $F(1, 28) = 53.23, p < .001$. As Figure 2 illustrates, older participants had longer RTs to the dual task than young participants. Contrary to what was predicted, no interaction was found between driving complexity and age, $F(1.69, 47.42) = 1.18, p > .05$.

 Insert Figure 2 about here

In the ANOVA executed on detection accuracy, sphericity was also not assumed ($p = .001$). Accordingly, the Huynh-Feldt correction was applied once again. The analysis demonstrates that there was a significant main effect of driving complexity, $F(1.51, 42.32) = 27.61, p < .001$. Similarly to what was revealed by the RT analysis, it was found that detection accuracy was greater in the Normal environment ($M = .78, SD = \pm .22$) than in the Complex environment ($M = .60, SD = \pm .28$), $F(1, 28) = 66.69, p < .001$. The contrast analysis also indicated that accuracy was significantly worse in the Unexpected environment ($M = .52, SD = \pm .32$) than in both the Normal and the Complex environments, $F(1, 28) = 19.30, p < .001$. The analysis also demonstrated that there was a significant main effect of age, $F(1, 28) = 54.87, p < .001$, young participants were more likely to detect the dual task stimuli than older participants (See Figure 3). No interaction was found between driving complexity and age, $F(1.51, 42.32) = 2.06, p > .05$.

 Insert Figure 3 about here

In the next analysis, the differences found in the previous analysis between the Normal and Complex driving situations was examined in further detail. It was reasoned that the presence of an unexpected event in the other four scenarios might have conditioned the participants' reactions to road events. Therefore, an analysis was executed by analyzing the normal and complex driving events in the control scenario, scenario zero. Once again, two 2 X 3 mixed ANOVA's were conducted with driving complexity (Complex, Unexpected) as the within subject factor and age as the between subject factor (Young, Old). The dependant variable differed in both analyses; in one

analysis RT to the dual task was used, whereas in the other, detection accuracy of the dual task was used.

In the ANOVA executed on RT, the analysis revealed a significant main effect of driving complexity, $F(1, 28) = 16.51, p < .001$. Therefore, there was a significant difference between the normal and complex environments in the absence of an unexpected event. There was also a significant main effect of age, $F(1, 28) = 26.83, p < .001$. No interaction was found between environmental complexity and age, $F(1, 28) = .56, p = .46$. In the analysis on detection accuracy of the dual task, the analysis revealed a significant main effect of environmental complexity, $F(1, 28) = 7.98, p = .01$. This analysis demonstrated that there was a significant difference between the normal and complex environments in the absence of an unexpected event. There was also a significant main effect of age, $F(1, 28) = 7.98, p < .001$. No interaction was found between environmental complexity and age, $F(1, 28) = 1.35, p = .26$. Both analyses demonstrate that the presence of an unexpected event does not contaminate the dual task performance for normal and complex environments.

The following analysis examined whether the cognitive demand, as assessed by the participants' reaction to the dual task, differed among the four unexpected events. Two 2 X 4 mixed ANOVA's were conducted, with age as the between subjects factor (Young, Old), and the four scenarios with Unexpected events as the within subjects factor. The dependant variable differed in both analyses; in one analysis RT to the dual task was used, whereas in the other, detection accuracy to the dual task was used.

In the analysis with RT as the dependant variable, the analysis revealed that there was a significant main effect of scenario, $F(3, 84) = 5.01, p = .01$. Specifically, difference

contrasts revealed that scenario four ($M = 4.44$, $SD = \pm .84$) was significantly different from all the other scenarios, $F(1, 28) = 21.06$, $p < .001$, whereas, all other scenarios did not differ significantly. This difference is depicted in Figure 4. There was also a significant main effect of age, $F(1, 28) = 17.99$, $p < .001$. An interaction was found between the scenarios and age, $F(3, 84) = 4.24$, $p = .01$. This interaction can be explained by looking at the results for young participants during scenario three and four in comparison to older participants (Figure 4). Specifically, simple main effects revealed that in scenario three older participants ($M = 4.45$, $SD = \pm 1.49$) had significant longer reaction times to the dual task than younger participants ($M = 1.90$, $SD = \pm 1.28$), $F(1, 28) = 25.33$, $p < .001$. However, the analysis performed on detection accuracy scores yielded a different result pattern. Indeed, the ANOVA indicated that that the four scenarios did not differ from one another, $F(3, 84) = .37$, $p > .05$. There was a significant main effect of age, $F(1, 28) = 17.30$, $p < .001$. Figure 5 illustrates that overall older participants had worse detection accuracy than younger participants. No interaction was found between the scenarios and age, $F(3, 84) = 1.46$, $p > .05$.

 Insert Figure 5 about here

In a last set of analyses, age differences in regards to the perceived mental workload associated with unexpected events were examined using the NASA TLX scores. Six 2 X 4 mixed ANOVA were conducted on the NASA TLX subscales (NASA MD, NASA PD, NASA TD, NASA E, NASA P, NASA F) with age as the between subject factor (Young, Old) and the four scenarios as the within subject factor. No scenario differences were found among all the NASA TLX subscales. Except for the NASA PD subscale, all other

NASA subscales yielded significant age-related differences ($p < .01$). No interactions were found among all the NASA TLX subscales.

Finally, NASA TLX scores were then correlated with the RT and detection accuracy of the dual task data, during the Unexpected events, in both older and younger participants. The correlation analysis demonstrated that in older participants detection accuracy of the dual task data was significantly correlated with the NASA TD ($r = .25$, $p = .03$), NASA E ($r = .29$, $p = .01$), NASA P ($r = .23$, $p = .04$), and the NASA F ($r = .35$, $p = .01$) data. In younger participants, it was found that the RT to the dual task correlated significantly with the NASA F ($r = .24$, $p = .03$) data.

Discussion

This study has yielded many interesting findings regarding the effects of age and driving complexity on cognitive load. The results confirmed that road events of varying complexities have differential effects on cognitive load as measured by the dual task. Also, important age differences were found across road events as revealed by the performance on the dual task and by the subjective work load ratings (NASA-TLX).

The first main finding corroborates previous observations (Merat et al., 2005; Verwey, 2000; Jahn, Johnson-Laird, & Knauff, 2005) that highlighted the sensitivity of cognitive load to road situations of varying complexities. Congruent with our predictions, detection accuracy and reaction times to the dual task for the complex events revealed greater cognitive challenge than for those of normal events. Furthermore and in agreement with our predictions, reaction time and accuracy for unexpected events revealed an even greater challenge than for those of complex and normal road events. Indeed, in reaction to unexpected events all drivers allocated the most of their attention to

the primary task which had the effect of decreasing detection accuracy, and similarly increasing reaction time to the dual task stimuli. It has been suggested that longer reaction times to the dual task for complex events, such as turns at intersections or lane changing, could be partly due simply to the shift in eye gaze and motor coordination (Jahn et al., 2005). In the unexpected events that were tested, all actions took place at the centre of the visual field and cannot be attributed to gaze shifting. Our data provides further confirmation that complex road events force the drivers to concentrate on their primary task, that is, handling the car safely.

The fact that cognitive load was further increased when unexpected events were encountered could be explained by a number of factors. The first one was the unpredictable nature of the event. As the response to the event could not be based on a pre-planned set of actions, it is not a surprise that the event took up most of the drivers' mental effort. An associated factor is the time pressure nature of the event. Drivers only had a very limited time to react to the event and to maintain or regain control over their car, in one case less than 1.5 seconds. Finally, another important factor is the impact of other road users in the scenario. In contrast with our complex events which were exclusively associated with the configuration of the road or directions (in reference to left or right turns), all unexpected events were caused by the inappropriate behaviour of traffic or pedestrians. None of the unexpected events occurred while the drivers were driving through a complex section of the road. Monitoring the reactions of the other road users and especially detecting their wrong doing certainly inflated the amount of information that needed to be processed. In sum, the nature of the unexpected events, as

they were manipulated in the present study, was qualitatively different than that of the complex events.

Qualitative differences between unexpected events were also revealed. Indeed, we observed that scenario four (in which the parked car pulled into the road) was significantly more challenging than the other three scenarios for both young and older adults in terms of reaction time to the dual task. This could be due to the fact that this event required the driver not only to react to the incursion but also to follow the vehicle for a period extending the initial incursion.

The various roadway events and their associated level of complexity translated into significant age differences on the cognitive load measures. As expected, older adults performed more poorly on the dual task than younger adults in terms of reaction time and detection accuracy for both complex and unexpected events. Interestingly, unexpected events varied in the degree to which they discriminated between young and older adults. For instance, scenario three (in which an occluded vehicle moved into the driver's lane), clearly discriminated the two age groups. In this scenario, older adults displayed poorer performance on the dual task for both reaction time and detection accuracy. The very unpredictable nature of the event in this scenario and its threat level might be responsible for the greater impact on older adults. The dual task findings in regards to age differences were corroborated by the participants' perceived workload. Interestingly, older adults reported higher cognitive workload on most subscales of the NASA-TLX. These findings are in line with past research which indicates that older adults face greater challenge when confronted to complex road situations (McGwin & Brown, 1999). This is also

emphasized by their lower perceived performance as compared to young adults on one of the NASA-TLX subscales.

In contrast with our predictions, older adults performed more poorly than young adults on the dual task at baseline, that is, in normal road situations. We hypothesized that young and older adults would perform similarly in situations where cognitive load was kept to a minimum. Indeed, large differences between young and older persons' driving skills have been shown to start occurring only when the driving task becomes more complicated (Schlag, 1993). However, the driving simulator differs greatly from driving in an on-road vehicle: the manoeuvres, motion cues and vehicle inputs feel considerably different. Older adults' lack of familiarity with this kind of device cannot be neglected. Furthermore, the fact that the dual task symbols were presented in the periphery of the visual field may have been an impediment to older adults seeing as useful field of view is known to diminish with age (Owsley, McGwin, & Ball, 1998). The lack of interaction could also be due to the fact that reaction times during unexpected events often reached ceiling performance (maximum score of five seconds) for older adults. In other words, if a stimulus was not detected, the assigned reaction time was 5 s. To palliate for this in future studies, lengthier training sessions in the simulator could help render older participants more familiar and comfortable with the task.

Finally, our findings show that the two measures of cognitive load employed in this study are partially correlated. Because the NASA-TLX breaks down workload into subcomponents, we could not expect to have large correlations between all the subscales and the performance on the dual task. The magnitude of the correlations was also limited by the fact that the performance on the dual task often approached ceiling. Nevertheless,

the significant correlations indicate that the objective assessment tool (dual task) and the subjective assessment one (NASA-TLX) are tapping into similar processes. What is even more interesting is that age-related differences on cognitive load were revealed using both the dual task performance and the NASA-TLX ratings.

Safe driving depends on a multitude of factors: the integrity of cognitive functions, proper registration of sensory inputs, attention and perception, and decision making skills. All of these factors are instantly mobilized in the event of an unexpected roadway event and safe reactions depend on their efficient information processing. Our study suggests that older adults may display more difficulties than younger adults in this kind of situation. To that end, the cognitive load concept appears as a valid and promising candidate to assess the cognitive challenge experienced by the older drivers. More research is called for to better understand older adults' driving behaviour in the hope of ensuring their safety and that of other drivers.

Table 1. NASA-TLX Subscales

RATING SCALE DEFINITIONS		
Title	Endpoints	Descriptions
MENTAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much mental and perceptual activity was required (e.g. thinking, deciding, calculating, remembering, looking, searching, etc.)? Was the task easy or demanding, simple or complex, exacting or forgiving?
PHYSICAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much physical activity was required (e.g. pushing, pulling, turning, controlling, activating, etc.)? Was the task easy or demanding, slow or brisk, slack or strenuous, restful or laborious?
TEMPORAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much time pressure did you feel due to the rate or pace at which the tasks or task elements occurred? Was the pace slow and leisurely or rapid and frantic?
EFFORT	<i>Low/High</i>	How hard did you have to work (mentally and physically) to accomplish your level of performance?
PERFORMANCE	<i>good/poor</i>	How successful do you think you were in accomplishing the goals of the task set by the experimenter (or yourself)? How satisfied were you with your performance in accomplishing these goals?
FRUSTRATION LEVEL	<i>Low/High</i>	How insecure, discouraged, irritated, stressed and annoyed versus secure, gratified, content, relaxed and complacent did you feel during the task?

References

- Allen, R. W., Stein, C. A., Aponso, B. L., Rosenthal, T. J., & Hogue, J. R. (1990). A low cost, part task driving simulator based on microcomputer technology. Paper presented at the 69th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
- Anstey, K. J., Woodm J., Lord, S. R., & Walker, J. (2005) Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review* 25, 45-65.
- Bieliauskas, L. A., Roper, B. R., Trobe, J., Green, P., & Lacy, M. (1998). Cognitive Measures, Driving Safety, and Alzheimer's Disease. *The Clinical Neuropsychologist*, 12, 206-212.
- Byers, J. C., Bittner, A. C., & Hill, S. G. (1989). Traditional and raw Task Load Index correlations: Are paired comparisons necessary? In A. Mital (Ed.), *Advances in industrial ergonomics and safety*. (pp 481–485) London: Taylor & Francis.
- Chandraratna, S. & Stamatiadis, N. (2003). Problem driving maneuvers of elderly drivers. *Transportation Research Record*, 1843, 89-95.
- Charness, N. & Bosman, E. A. (1992). Human factors and age. In F. I. M. Craikn & T. A. Salthouse (Eds), *Handbook of Aging and Cognition*. (pp. 495-551) New Jersey: Hillsdale Lawrence Erlbaum.
- Cooper, P. J. (1990). Differences in accident characteristics among elderly drivers and between elderly and middle-age drivers. *Accident, Analysis and Prevention*, 22, 499-508.

- De Raedt R & Ponjaert-Kristoffersen I. (2000). Can strategic and tactical compensation reduce car accident risk in older drivers? *Age and Ageing*, 29, 517– 521.
- Engstro, J., Johansson, E., & Ostlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transport Research F*, 8, 97–120.
- Evans, L. (1988). Older driver involvement in fatal and severe traffic crashes. *Journal of Gerontology: Social Sciences*, 43, S186–S193.
- 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 Psychiatry Research*, 12, 189-198.
- Gagnon, S., Villemure, R., Montembeault, P., & Bélanger, A. (2007). Vieillissement cognitif et conduite automobile. *Revue Québécoise de Psychologie*, 27, 169-190.
- Hancock, P. A. & Scallen, S. F. (1999). The driving question. *Transportation and Human Factors*, 1, 47-55.
- Hakamies-Blomqvist, L. & Henriksson P. (1999). Cohort effects in older drivers' accident type distribution: Are older drivers as old as they used to be? *Transportation Research, Part F*, 2, 131-138.
- Hakamies-Blomqvist, L & Wahlstrom, B. (1998). Why do older drivers give up driving? *Accident Analysis and Prevention*, 30, 305– 312.
- Hancock, P. A., & Verwey, W. B. (1997). Fatigue, workload and adaptive driver systems. *Accident Analysis and Prevention*, 29, 495–506
- Hill, S. G., Iavecchia, H. P., Byers, J. C., Bittner, A. C., Zaklad, A. L., & Christ, R. E. (1992). Comparison of four subjective workload rating scales. *Human Factors*, 34, 429–439.

- Horberry T, Anderson J, Regan M, Triggs T, Brown J. Driver distraction: the effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accid Anal and Prev*; 2006; 38: 185-191.
- Jahn, G., Johnson-Laird, P. N., & Knauff, M. (2005). Reasoning about consistency with spatial mental models: Hidden and obvious indeterminacy in spatial descriptions. In: C., Freksa, M., Knauff, B., Krieg-Brückner, B., Nebel, & T., Barkowsky (Eds.), *Spatial Cognition IV - Reasoning, Action, Interaction*. Berlin: Springer;; 165-180.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., Lilienthal, & M. G. (1993). A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3, 203-220.
- Lee , H. C., Drake, V., & Cameron, D. (2002). Identification of appropriate assessment criteria to measure older adults' driving performance in simulated driving. *Australian Occupational Therapy Journal*, 49, 150-157.
- Lefrançois, R. & D'Amours, M. (1997). La performance des automobilistes âgés dans les situations de conduite difficile. *Canadian Journal on Aging*, 16, 320-336.
- McGwin, G., & Brown, D. (1999). Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 31, 181-198.
- Merat, N., Anttila, V., & Luoma, J. (2005). Comparing the driving performance of average and older drivers: The effect of surrogate in-vehicle information systems. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 8, 147-166
- Meuleners, L. B., Harding, A., Lee, A. H. & Legge, M. (2006) Fragility and crash over-representation among older drivers in Western Australia. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 1006-1010.

- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485–520). New York: Plenum.
- OECD. Ageing and Transport: Mobility Needs and Safety Issues. 2001. Paris: OECD.
- Owsley, C., McGwin, G., & Ball, K. (1998). Vision impairment, eye disease, and injurious motor vehicle crashes in the elderly. *Ophthalmic Epidemiology*, 5, 101–113.
- Recarte, M. A. & Nunes, L. (2003). Mental workload while driving: Effects on visual search, discrimination and decision making. *Journal of Experimental Psychology Applied*, 9, 119-137.
- Rizzo, M., Reinach, S., McGehee, D., & Dawson, J. (1997). Simulated car crashes and crash predictors in drivers with Alzheimer disease. *Archives of Neurology*, 54, 545-551.
- Rizzo, M., Stierman, L., Skaar, N., Dawson, J. D., Anderson, S. W., & Vecera, S. P. (2004). Effects of a controlled auditory-verbal distraction task on older driver vehicle control. *National Academy of Sciences: Transportation Research Record*, 1865, 1-6.
- Ryan, G. A., Legge, M., & Roseman, D. (1998) Age related changes in driver's crash risk and crash type. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 379-387.
- Schlag, B. (1993). Elderly drivers in Germany fitness and driving behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 25, 47-55.
- Sharit, J., Czaja, S. J., Nair, S. N., Hoag, D. W., Leonard, D. C., & Kilsen, E. K. (1998). Subjective experiences of stress, workload, and bodily discomfort as a function of

age and type of computer work. *Work and Stress*, 12, 125-144

Sheridan, T. B. (2004). Driver distraction from a control theory perspective. *Human Factors*, 46, 587-599.

Tomprowski, P. D. (2003). Performance and perceptions of workload among young and older adults: effects of practice during cognitively demanding tasks. *Educational Gerontology*, 29, 447-466.

Trick, L. M., Enns, J. T., Mills, J., & Vavrik, J. (2004). Paying attention behind the wheel: A framework for studying the role of selective attention in driving. *Theoretical Issues in Ergonomic Science*, 5, 385-424.

Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control and attention: A review of meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral reviews*, 26, 849-857.

Verwey, W. B. (2000). On-line driver workload estimation. Effects of road situation and age on secondary task measures. *Ergonomics*, 43, 187-209.

Figure Caption

Figure 1. Driving simulator configuration.

Figure 2. Reaction Times to the Dual Task in as a function of the driving complexity.

Figure 3. Detection Accuracy to the Dual Task as a function of the driving complexity.

Figure 4. Variation of the Reaction Time to the Dual Task According to the
Nature of the Unexpected Events.

Figure 5. Variation of the Detection Accuracy to the Dual Task According to the
Nature of the Unexpected Events.



Figure 1.

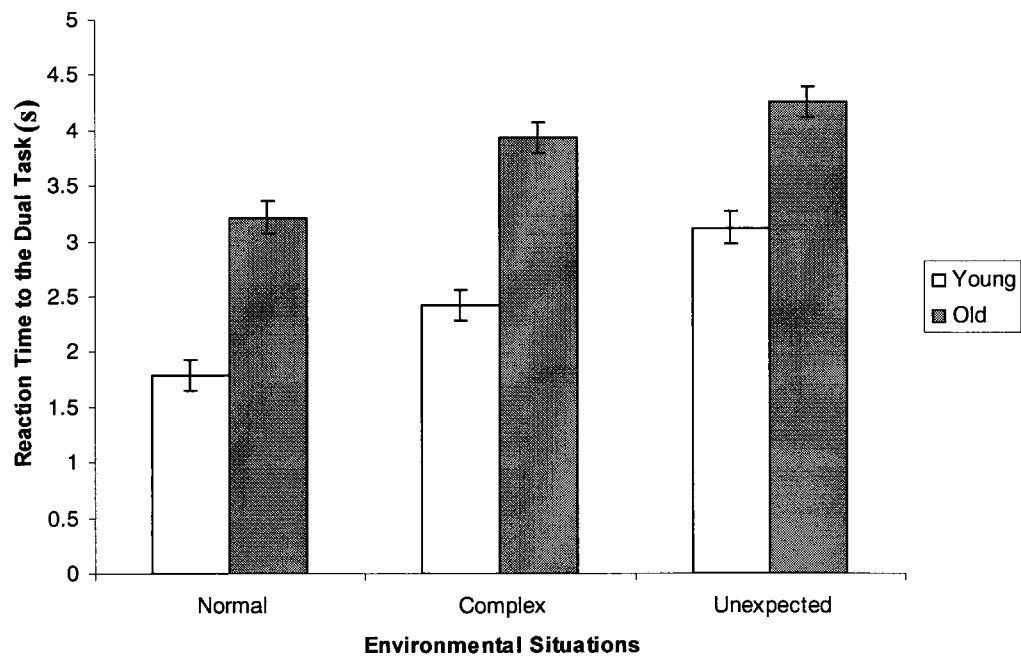


Figure 2.

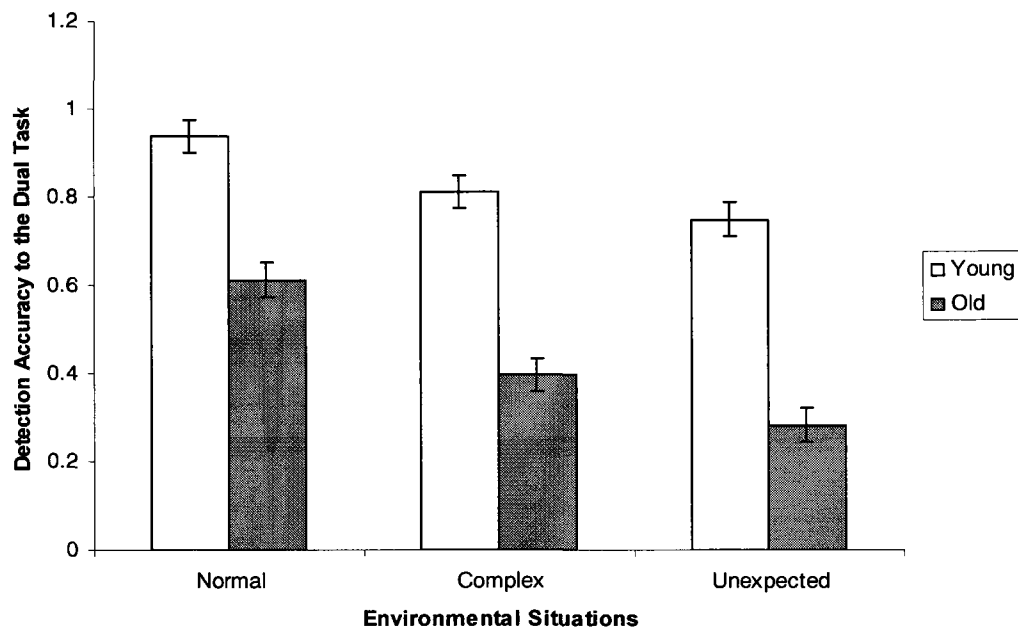


Figure 3.

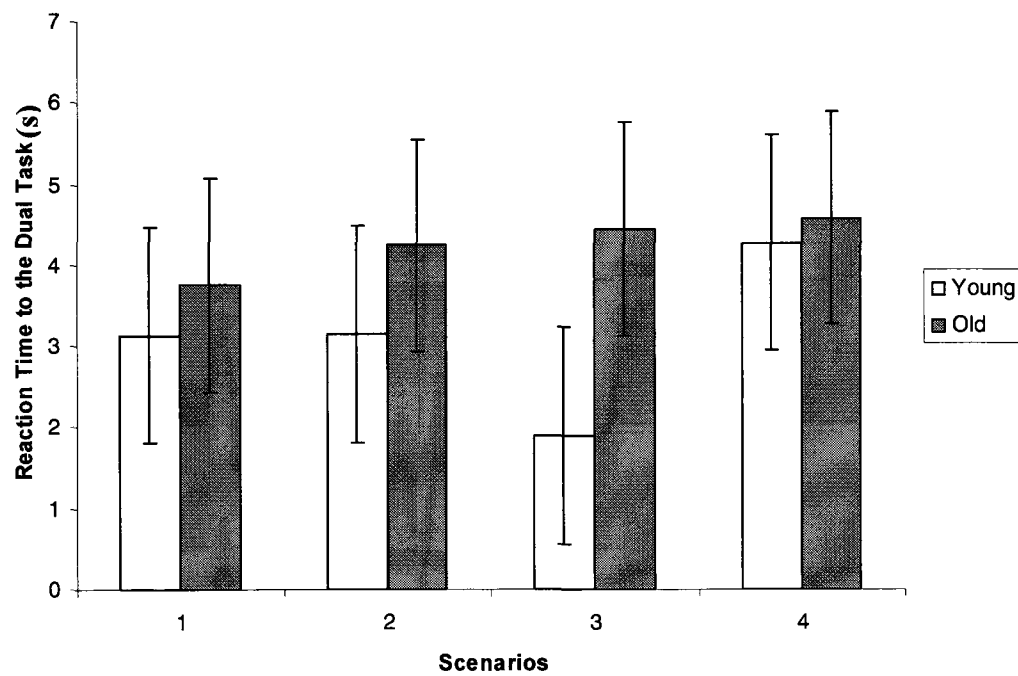


Figure 4.

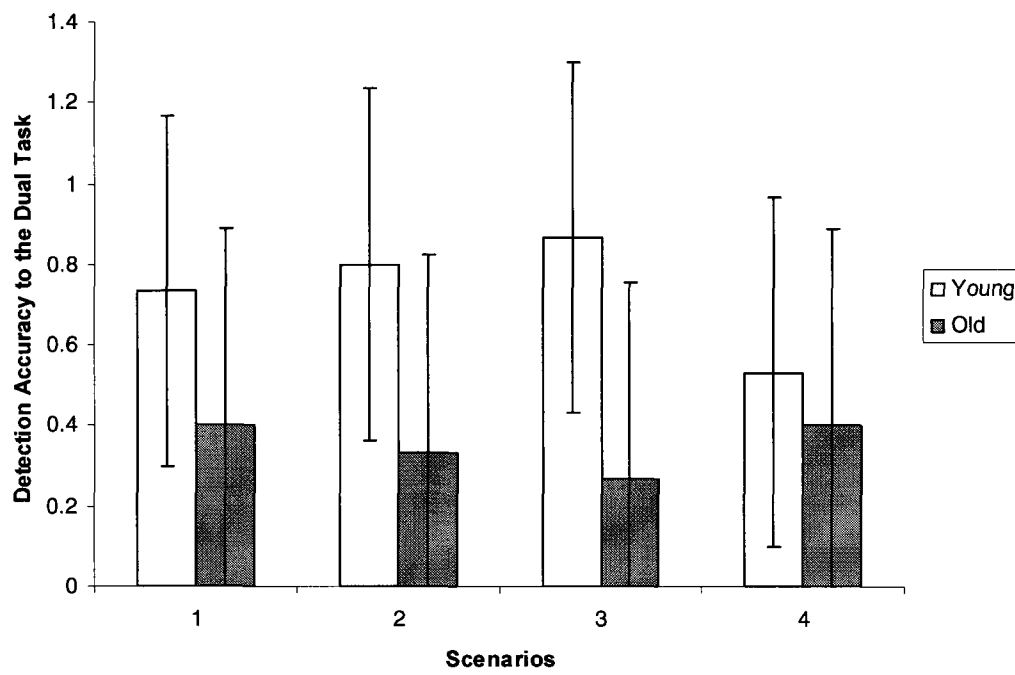


Figure 5.

2.3.2. ARTICLE 2

Capturing the serial nature of older drivers' responses towards challenging events: a simulator study.

Alexandre Bélanger¹, Sylvain Gagnon¹ and Stephanie Yamin¹

Correspondance: Sylvain Gagnon, Ph.D.

Bélanger, A., Gagnon S. & Yamin, S. Crashing under pressure: Age-related differences to simulated challenging road events. Accident Analyses and Prevention. Sous presse.

Abstract

Older drivers' ability to trigger simultaneous responses in reaction to simulated challenging road events was examined through crash risk and local analyses of acceleration and direction data provided by the simulator. This was achieved by segregating and averaging the simulator's primary measures according to six short time intervals, one before and five during the challenging events. Twenty healthy adults aged 25 to 45 years old ($M = 29.5 \pm 4.32$) and 20 healthy adults aged 65 and older ($M = 73.4 \pm 5.17$) were exposed to five simulated scenarios involving sudden, complex and unexpected manoeuvres. Participants were also administered the Useful Field of View (UFOV), single reaction time and choice reaction time tests, a visual secondary task in the simulator, and a subjective workload evaluation (NASA-TLX). Results indicated that the challenging event that required multiple synchronized reactions led to a higher crash rate in older drivers. Acceleration and orientation data analyses confirmed that the drivers who crashed limited their reaction. The other challenging events did not generate crashes because they could be anticipated and one response (braking) was sufficient to avoid crash. Our findings support the proposal (Hakamies-Blomqvist et al., 1999) that older drivers have more difficulty activating car controls simultaneously putting them at risk when facing challenging and time pressure road events.

1. Introduction

Adults aged 65 and older represent the fastest growing segment of the driving population (OECD, 2001). Not only will there be an increased number of older drivers on the road, it is also expected that they will keep their licenses longer and use their automobiles more frequently in comparison to previous generations of older drivers (Hu et al., 1998; Lyman et al., 2002). Subjectively, older adults consider driving to be one of their most important daily activities (Fricke and Unsworth, 2001), as such, Persson (1993) observed that only 5 % of older adults would consider relinquishing their driving privileges should they be implicated in a car crash. This observation is not surprising considering that driving cessation greatly impacts older adults' quality-of-life, may decrease their social activities, and in some cases may even induce depressive symptoms (Marottoli et al., 2000; Ragland et al., 2005).

These findings stress the importance of establishing methods aimed at discriminating safe older drivers from unsafe drivers in order for them to maintain their driving privileges for as long as possible (McCarthy, 2005). Indeed, even if most older drivers should be considered safe drivers, a significant number are involved in at-fault car crashes (Hakamies-Blomqvist, 1998; Williams and Shabanova, 2003). Recently, Langford et al. (2006) observed that drivers aged 65 and older were 1.5 times more likely to be responsible for their crashes compared to younger adults. Accidentology investigations have revealed that older drivers are more prone to crash in complex driving situations where time pressure and cognitive load are elevated (e.g., left turns, lane changes; Chandraratna and Stamatiadis, 2003; Mayhew et al., 2006). Summala and Mikkola (1994) observed that accidents occurring at intersections increased with age and noticed

that considering all road accidents causes (i.e., fatigue, speed violations, steering errors and self destructive tendencies) only those related to inattention increased with age (see also Hakamies-Blomqvist, 1993).

In order to better describe and assess older drivers' cognitive challenges while driving, researchers have created complex and time pressured in vivo situations (Chaparro et al., 2005; Dobbs, 2005; Merat et al., 2005; Rizzo et al., 2004). Some studies have also introduced secondary tasks (i.e., visual or auditory) to assess or increase drivers' cognitive load. Interestingly, when on road demands increased or when they were asked to respond to a secondary task, older drivers tend to use compensatory strategies (e.g., slowing down) but they did not clearly exhibit unsafe behaviors. Moreover, older participants continued responding to the secondary task even in complex situations (Chaparro et al., 2005; Merat et al., 2005). Merat and colleagues (2005) hypothesized that older drivers' resources were not fully mobilized by the road situations which allowed them to execute the secondary tasks. Hakamies-Blomqvist and colleagues (1999) explained that some older drivers lower their cognitive load in complex road situations by addressing the environmental demands in a more serial fashion (i.e., making fewer driving manoeuvres simultaneously). In their experiment in which participants were requested to drive an instrumented car over an urban and suburban seven kilometer course, they found that older drivers tended to activate the various controls more serially than younger experienced drivers did. Serialisation of the driving devices was also found to be associated with total completion time of the driving course. For these authors, this time consuming compensatory strategy had the potential to generate unsafe behaviours in surprising and complex road situations that usually require rapid and simultaneous

executions of many controls. Unfortunately, the recording of serial responses was not overlapped with the road environment and demands in their experiment. Moreover, no challenging events were introduced.

In order to further assess the above interpretation it is essential to record driving reactions before and during a challenging event without jeopardizing anyone's safety. Indeed, challenging events are known to induce crashes (Cyr et al., 2005; Rizzo et al., 2001). Using a driving simulator, Rizzo and colleagues (2001) found significant differences between healthy older adults and patients suffering from Alzheimer's disease (AD) in a surprising event consisting of a car incursion at an intersection. During that particular event, 6/18 older drivers suffering from AD crashed whereas none of the 12 control older participants crashed. However, crashes by themselves do not always discriminate groups of drivers. Horberry and colleagues (2006) assessed younger and older drivers on simulated scenarios that contained three surprising events of increasing complexity (e.g., a pedestrian standing on the side of the road, a car reversing towards the road and a pedestrian crossing the road). The results revealed an increase in compensatory behavior (reducing driving speed) during the more difficult surprising events, though no crashes were reported. It is also worth noting that crashes in older drivers were not observed. This indicates that crashes in simulators are not always revealing of the difficulties that drivers face in reaction to challenging events. On the other hand the lack of crashes in healthy older drivers may also indicate that the complexity of the challenging events as well as their inherent time pressure were not elevated enough to induce significant driving errors leading to crashes.

Additionally, the behavioral reactions of the drivers before and during the challenging events were not examined in a way to understand the reactions and limitations of the older drivers. Most studies using simulators have commonly analyzed driving measures in a global fashion (i.e., average speed, standard deviation, minimum or maximum values; Lee et al., 2003; Lee and Lee, 2005; Horberry et al., 2006, Merat et al., 2005; Yan et al. , 2007) rather than focusing on more local reactions that could for instance be revealing of serialisation. Interestingly, Rizzo and colleagues (2001) argued that increasing the sensitivity of simulator data analyses may lead to a better understanding of the drivers' reactions (see also Reinach et al., 1997).

Based on Hakamies-Blomqvist and colleagues (1999) serialisation interpretation and considering the relevance of studying driving reactions to challenging events in older drivers, we decided to examine drivers' responses as measured by various driving parameters recorded by a driving simulator. This was specifically measured during very short time intervals before and during the onset of a surprising event. Using this method we should be able to confirm whether older drivers react to a given challenging event more serially than their younger counterparts. We also examined whether the responses to a given challenging event could be predictive of the reactions to other challenging events. Therefore, the goal of the present study was to investigate older drivers' reactions to simulated driving situations of elevated complexity and time pressure. Based on previous studies (Horberry et al., 2006; Rizzo et al., 2001), we created and exposed participants to road events that varied both in the manoeuvres required to avoid the crash situation safely and in the time pressure. The reactions of older drivers to the surprising events were examined by the driving simulators' primary measures (i.e., velocity, lane position,

steering angle, etc.), which were split in time intervals tailored according to the duration of the surprising event. We also assessed performance on a number of cognitive tasks known to be correlated with crash (i.e., single and choice reaction time as well as a visual secondary task; Anstey et al., 2005; Lee et al., 2002) or predictive of crash (i.e., UFOV; Clay et al., 2005). We hypothesized that as the number of maneuvers and time pressure increases, the serialisation of the driving controls (i.e. brake pedal and steering wheel) would be inadequate to respond in a safe manner to the challenging event. The time pressure increase should eliminate the impact of compensatory driving strategies that are typical of older drivers.

2. Methods

2.1. Participants

The convenience sample was composed of 20 older and 20 younger participants with at least five years of driving experience (see Table 1). Initially, 52 drivers participated in this study, but 12 (all of them older adults) withdrew during testing due to symptoms typical of the Simulator Adaptation Syndrome (SAS). These symptoms were monitored using the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) in order to prevent unnecessary exposure to driving simulation (Kennedy et al., 1993). However, participants manifesting SAS did not exhibit differences in their demographic variables from participants who did not.

Insert Table 1 about here

All participants were first screened for physical and mental health using a comprehensive health questionnaire administered over the phone. Older participants were also tested for severe cognitive impairments using the Mini-Mental State Examination (MMSE; cut off

was set at 25; Braekhus et al., 1995). Based on their responses, all participants were deemed healthy. All younger and older drivers had at least five years of driving experience. Yearly average distance driven did not differ significantly between age groups, $t(37) = 2.22, p = 0.98$.

2.2. *Driving simulator*

The virtual driving environment was generated via a STISIM Drive simulator (version 1, Systems Technology Inc.) and was displayed on three wide screens by means of three NEC projectors, giving a forward field of view of 80 degrees. The simulator was equipped with steering wheel, signaler, braking and throttle pedals, and speakers. The software was run on a Windows NT operating system with Intel x86 Family PC computers. The STISIM simulator projects at a rate of 30 frames per second and allows recording of the driving parameters every 1/10 of a second or above. In the present study, data were recorded at every 1/10 of a second.

2.2.1. *Simulated Scenarios*

The participants executed five scenarios, each based on the same eight kilometers of simulated suburban route (see Figure 1). The circuit consisted of a two-lane road which gradually leads to a four-lane highway, with five stops, 10 traffic lights, as well as three left and two right turns. Participants drove the *familiarization* scenario, which did not include a surprising event and served to acquaint participants with the course and its different driving directions. Afterward, participants drove four other scenarios, including one of the following surprising events:

Insert Figure 1 about here

1) *Car overtaking*: The driver is approaching an oncoming bus positioned in the opposite lane that is occluding a car behind it. The occluded car swiftly moves into the driver's lane in an attempt to pass the bus, thus blocking the driver's path. The event is designed so that when the time between the occluded car and the driver's vehicle is three seconds, the occluded car travels three meters into the driver's lane at a speed of 15 m/s. In this event the driver has to react quickly to swerve in the correct direction and avoid the incoming car without seeing it in advance (see Table 2). Braking is not sufficient to avoid the oncoming car. Participants had an average of 2950 ms to react to the event.

Insert Table 2 about here

2) *Pedestrians crossing*: The driver approaches a group of stationary pedestrians on both sides of the road. Two pedestrians standing at 6.25 and 6.4 metres from the centerline of the road abruptly run across the street at 1.39 m/s from right to left when the driver's car is at 1.5 seconds of the pedestrians. The driver needs to press on the brake quickly in order to prevent a collision with the pedestrians. Participants had an average of 3260 ms to react to the event.

3) *Parked car incursion*: The driver approaches a parked car on the right hand side of the road. When the parked car and the driver's vehicle are within 2.2 seconds of each other, the parked car pulls 3.75 m into the roadway and gradually accelerates until a speed of 4 m/s faster than the driver's speed is reached, thus obstructing the driver's path. There is no oncoming vehicle in the opposite lane. The driver must either brake and/or swerve to avoid colliding with the car. Participants had an average of 6190 ms to react to the event.

4) *Car incursion*: As the driver approaches a two-way stop intended for cross traffic, a vehicle does not heed the stop sign and blocks the driver's path. This event was

programmed in such a way that if the driver keeps constant speed, he/she will collide with the crossing vehicle. The driver is forced to brake and/or swerve to avoid colliding with the obstructing car. Participants had an average of 5760 ms to react to the event.

2.3. Cognitive measures

All participants were administered the UFOV, a computerized test consisting of three subscales measuring processing speed, divided attention and selective attention (Ball et al., 1990). Additionally, single reaction time and choice reaction time were assessed through computerized tasks programmed via E-Prime Version 1.1.4.4 (Psychology Software Tools Inc.). Each reaction task was composed of 60 trials and each trial lasted a maximum of five seconds. The single reaction time consisted of pressing the space bar when a black triangle appeared on the computer screen. In the choice reaction time, participants were required to fixate on two circles that were consistently displayed on the screen and press the “1” key on the numeric keyboard if the left circle shifted shape to a square and press the “3” key if the right circle shifted.

The NASA-TLX was chosen as a measure of subjective cognitive load as it is regarded to be a sensitive and reliable assessment tool (Hart and Staveland, 1988). This instrument is comprised of six subscales (i.e., mental demand, temporal demand, physical demand, effort, frustration and performance) with scores ranging from one (low) to ten (high). The STISIM Drive simulator provides the option of presenting a visual secondary task while driving. In this task, two diamond shaped symbols are continually displayed on either side in the periphery of the driving scene at an angle of 25 degrees from the driver’s seat. One of the diamonds would then shift shapes into a triangle for a maximum of five seconds after which it resumed its diamond shape. The driver was instructed to

detect the shape shift by indicating manually with the signaler whether it was occurring on the left (signaler down) or on the right side (signaler up). For all scenarios, the visual secondary task was activated during two non-consecutive quarters of the route but always for the quarter including the surprising event. Participants were notified by a recorded voice when these visual secondary task quarters would begin and end. The visual secondary task performances obtained on the scenarios that contained a surprising event were averaged across three categories of road complexity in which they were embedded: minimal (e.g., during straight road), high (e.g., during turns, lights and stops) and critical (surprising events). In a previous article, the visual secondary task data were analyzed in terms of road complexity and subjective workload (see Cyr et al., 2006).

The two age groups as well as crashers and non-crashers were contrasted on all cognitive measures.

2.4. Procedures

After informed consent was obtained, the single reaction time, choice reaction time, MMSE, and UFOV were administered. Following this, participants were introduced to the simulated environment with a 25 minute training session in five areas of increasing complexity: 1) Speed; 2) Steering; 3) Braking; 4) Turning and 5) Visual secondary task (see Cyr et al., 2006 for further details concerning training). Once training was completed, participants were first exposed to the *familiarization* scenario and subsequently to a counterbalanced sequence of the four scenarios that contained the surprising events. After each scenario, participants were asked to complete the NASA-TLX while referring solely to the surprising events. Statistical analyses indicated that the

order of scenario presentation did not have any effect on the average primary measures results.

2.5. Data analysis plan

All analyses were executed using SPSS (V.15) software package (SPSS Inc, Chicago, Ill). In this study, the events *pedestrians crossing*, *car overtaking* and *parked car incursion* were analysed. The *car incursion* event was excluded as qualitative differences were noted between participants in both age groups, having a significant number of drivers (11/40) who did not encounter the obstructive vehicle. In fact, these participants desynchronised the event by driving too slowly (i.e., at least 20 km/h below the speed limit of 50km/h coming to that intersection).

Participants' driving reactions were analysed by means of six time intervals, including one interval preceding the onset of the event (baseline, T0) and five intervals while the event occurred (T1-T5). The duration of these intervals varied between the three surprising events and was set so as to not include any crashes (see table 2).

For each of the three surprising events, an average of the following driving variables was computed for each time interval: steering angle, lateral acceleration, heading angle, lane position, brake pedal pressure, throttle pedal pressure, longitudinal acceleration, and longitudinal velocity. The mean scores on these variables were analyzed via a series of mixed ANOVAs, including the factors Age (Younger and Older) and Time (T0 to T5). The occurrence of crash was examined for all scenarios in order to contrast crashers and non-crashers on all variables. *Car overtaking* was the only challenging event that induced crashes (19/40 participants) and more so in older participants (13/20) than younger ones

(6/20), $\chi^2(1, N = 40) = 5.61, p < 0.05$. Therefore, Crash (yes or no) was also considered when analyzing the driving parameters recorded during the *car overtaking* event.

Considering the age-related differences during car overtaking, two additional analyses exploring the simultaneous use of steering wheel and brake pedal were conducted (similar to Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Each participant was rated for their use of the steering wheel (1 or 0) and the brake pedal (1 or 0), i.e. participant's score ranged from 0 to 2. The rating was calculated using an average braking and steering threshold during straight sections where no events occurred. This threshold was obtained separately for older and younger groups by averaging their standard deviation of steering wheel angle and brake pressure at T0s of the four surprising events (older drivers' steering wheel angle SD = 2.48; younger drivers' steering wheel angle SD = 3.05; older drivers' brake pressure SD = 7.88; younger drivers' brake pressure SD = 6.85). Observed scores were dichotomised as a function of the standard deviations. Scores ranging beyond one SD were considered 1, while scores below one SD were considered as 0. Participants' ratings were analysed via a mixed ANOVAs that included Age (Younger and Older), Crash (Yes or No) and Time (T1 to T5). A second mixed Age X Crash ANOVA was conducted considering the number of periods (T1 to T5) when participants were using both the steering wheel and the brake pedal (i.e. score of 2).

ANOVAs revealing significant interactions were dissected by simple effect tests using the Bonferroni adjustment. Crashers and non-crashers from *car overtaking* were further compared during *pedestrians crossing* and *parked car incursion* via t-tests performed within each age group and for each interval.

The cognitive measures (UFOV, NASA-TLX, visual secondary task, single reaction time and choice reaction time) were analyzed through t-tests comparing the occurrence of a crash (Yes or No) in the *car overtaking* scenario. In order to shorten the results section, only significant results are presented.

3. Results

3.1. Car overtaking

3.1.1. Age.

Simple analyses on Age within the crashers and non-crashers groups were performed even though the interaction with that factor was not significant given that qualitative analyses revealed distinct age-related differences in driving behaviours (i.e., younger crashers swerving towards their left whereas older crashers barely swerved; Figure 2). These analyses revealed that younger crashers did swerve significantly more towards the left compared to older crashers (see Figure3), as shown by the variables lateral acceleration [T4 ($M = -0.61$ vs. $M = -0.10$ $SEM = 0.57$, $p < 0.05$) and T5 ($M = -1.33$ vs. $M = -0.30$ $SEM = 1.17$, $p < 0.05$)], steering angle [T4 ($M = -13.69$ vs. $M = -2.26$ $SEM = 5.79$, $p < 0.05$)], and heading angle [T5 ($M = -2.44$ vs. $M = -0.30$ $SEM = 0.79$ $p < 0.05$)].

Insert Figures 2 and 3 about here

3.1.2. Crash

Analyses of variance revealed a significant Crash X Time interaction for lateral acceleration [$F(1, 36) = 35.79$, $p < 0.001$], with crashers accelerated less toward the right at T4 ($M = -0.11$ vs. $M = 0.98$, $SEM = 0.27$, $p < 0.05$) and T5 ($M = -0.62$ vs. $M = 1.48$, $SEM = 0.38$, $p < 0.05$) than non-crashers. Correspondingly, the steering angle [$F(1, 36) = 35.00$, $p < 0.001$] and heading angle [$F(1, 36) = 9.32$, $p < 0.01$] indicated that crashers

swerved less to the right. The Crash X Time ANOVA was also significant for brake pressure [$F(1, 36) = 4.82, p < 0.05$], crashers braking less at T3 ($M = 17.23$ vs. $M = 38.68, SEM = 4.86, p < 0.05$) and T4 ($M = 20.47$ vs. $M = 41.89, SEM = 3.85, p < 0.05$). Similarly, the longitudinal acceleration analysis also led to a significant Crash X Time interaction effect, $F(1, 36) = 7.01, p < 0.05$. Longitudinal velocity analysis was significant for Crash X Time interaction [$F(1, 36) = 6.95, p < 0.05$] revealing that crashers drove more slowly at T0 ($M = 12.45$ vs. $M = 15.32, SEM = 1.34, p < 0.05$) and T1 ($M = 11.01$ vs. $M = 14.28, SEM = 1.52, p < 0.05$) compared to non-crashers.

3.1.3. Simultaneous use of steering wheel and brake pedal

Analyses of variance revealed a significant Crash X Age X Time interaction for the rating of the simultaneous use of the steering wheel and brake pedal ($F(1, 36) = 4.90, p < 0.05$). Contrast analyses indicated that older crashers were activating significantly less driving controls simultaneously than older non-crashers at T3 ($M = 0.69$ vs. $M = 1.41, SEM = 0.36, p < 0.05$), T4 ($M = 0.78$ vs. $M = 1.78, SEM = 0.39, p < 0.05$) and T5 ($M = 0.75$ vs. $M = 1.57, SEM = 0.40, p < 0.05$), as shown on Figure 4. Likewise, the analyses of the number of periods using both the steering wheel and the braking pedal led to a significant interaction Crash X Age ($F(1, 36) = 9.37, p < 0.01$), with older crashers having fewer periods with parallel use of car controls in comparison to older non-crashers ($M = 0.18$ vs. $M = 1.71, SEM = 0.28, p < 0.05$)

Insert Figure 4 about here

3.2. Pedestrians crossing

3.2.1. Age

The ANOVA performed on Age X Time was significant for the brake pedal pressure variable [$F(1, 36) = 17.93, p < 0.001$], younger participants braking significantly more than older counterparts at T1 ($M = 23.89$ vs. $M = 4.42, SEM = 4.29, p < 0.05$), T2 ($M = 48.44$ vs. $M = 9.86, SEM = 4.45, p < 0.05$) and T3 ($M = 59.87$ vs. $M = 11.68, SEM = 4.34, p < 0.05$), as shown on Figure 5. In contrast, younger drivers pressed less on the brake pedal at T5 than older participants did ($M = 9.51$ vs. $M = 38.47, SEM = 0.92, p < 0.01$).

Insert Figure 5 about here

3.2.1. Crash

Pedestrians crossing was further analysed comparing crashers and non-crashers from the *car overtaking* within each age group. The only significant differences indicated that older crashers braked less at T4 [$M = 48.56$ vs. $M = 30.64, SEM = 3.14, t(18) = 2.23, p < 0.05$] and T5 [$M = 50.42$ vs. $M = 31.71, SEM = 3.11, t(18) = 2.48, p < 0.05$] compared to older non-crashers.

3.3. Parked car incursion

3.3.1. Age

The analyses revealed a significant Age X Time interaction for lateral acceleration [$F(1, 36) = 9.87, p < 0.01$], with younger participants accelerating more towards the left at T3 ($M = -3.12$ vs. $M = -1.88, SEM = 0.13, p < 0.05$) than older participants (see Figure 6). Accordingly, heading angle [$F(1, 36) = 11.23, p < 0.01$] and lane position [$F(1, 36) = 12.90, p < 0.01$] also indicated that younger participants swerved more to the left. The analysis of the brake pedal pressure variable in *parked car incursion* led to a significant Age X Time interaction, $F(1, 36) = 9.45, p < 0.01$, with older participants braking more

than younger ones at T3 ($M = 33.62$ vs. $M = 19.28$, $SEM = 3.07$, $p < 0.05$) and T4 ($M = 44.18$ vs. $M = 22.17$, $SEM = 3.06$, $p < 0.05$). Moreover, longitudinal acceleration [$F(1, 36) = 11.04$, $p < 0.01$] and longitudinal velocity [$F(1, 36) = 13.71$, $p < 0.01$] also indicated that older participants decelerated significantly more.

Insert Figure 6 about here

3.3.2. Crash

Analyses of *parked car incursion* comparing crashers and non-crashers in the *car overtaking scenario* did not lead to significant differences.

3.4. Cognitive measures

3.4.1. Crash

Participants' performances on various cognitive measures were examined considering crash occurrence during *car overtaking scenario*. This set of analyses is justified by the fact that the *car overtaking* scenario appears most sensitive considering the contrasting nature of the reaction of crashers and non-crashers as well as the presence of crashes itself. The first analyses executed on the UFOV subtests indicated that crashers' processing speed was slower compared to non-crashers [UFOV1: $t(38) = 2.20$, $p < 0.05$], and that their performance on measures of divided and selective attention was significantly slower [UFOV2: $t(38) = 3.53$, $p < 0.01$; UFOV3 : $t(38) = 4.67$, $p < 0.01$, see Figure 7]. Also, the visual secondary task analyses revealed that crashers displayed slower reaction time [$t(38) = 4.00$, $p < 0.01$] and poorer accuracy [$t(38.12) = 2.03$, $p < 0.05$] (Figures 8 and 9). Moreover, NASA-TLX results from the *car overtaking scenario* revealed that crashers judged their physical demand as higher [$t(38) = 2.62$, $p < 0.05$], their performance as worse [$t(38) = 4.96$, $p < 0.05$], and their frustration as higher [$t(38)$

= 2.88, $p < 0.05$] than non-crashers (Figure 10). However, crashers and non-crashers did not differ on both simple and choice reaction time tasks.

Insert Figures 7-10 about here

An additional set of analyses was run on the various cognitive measures to find out whether similar findings were obtained when only older drivers were considered. Indeed, analyses performed on older participants revealed slower performances for crashers compared to non-crashers for UFOV2 [$t(38) = 3.84, p < 0.01$], UFOV3 [$t(38) = 2.72, p < 0.01$] and for visual secondary task latency in complex environments [$t(38) = 1.84, p < 0.01$]. In addition, older participants who crashed considered their physical demand as higher [$t(38) = 12.45, p < 0.01$], their temporal demand as higher [$t(38) = 2.39, p < 0.01$], and their perceived performance as worse [$t(38) = 17.91, p < 0.01$] when compared to non-crashers according to their NASA-TLX results. Once again, reaction time scores were comparable between older crashers and older non-crashers.

4. Discussion

This study explored the nature of age-related driving responses using four simulated challenging road events of varying complexities and time pressure. It was hypothesized that higher complexity and time pressure would lead to increased unsafe reactions due to the lack of parallel responses, especially in older drivers. This hypothesis was confirmed by our current findings. Distinct age-related reactions were observed for the three events and older drivers faced a significantly higher risk of crash when confronted by the challenging event (*overtaking car*) that required synchronized responses for safe avoidance of a crash. Interestingly, measures of processing speed, attention and cognitive load discriminated the participants who collided from those who did not.

Car overtaking is the only event inducing crash, and it did so significantly more in the older participants compared to the younger ones. Analyses of simulator's primary measures in this event indicated that older crashers had difficulty in simultaneously swerving and braking, whereas a majority of younger crashers swerved in the wrong direction, while possibly trying to pass between the bus and the car. These differences were observed even if the drivers who crashed drove slower. The nature of this surprising event, explained in part the higher likelihood to crash. First, according to our hypothesis many controls needed to be activated simultaneously to avoid crash in this situation, braking being not sufficient; 2) it is the only event where the obstructing object appears at the last minute preventing participants to anticipate the inappropriate reaction of the oncoming vehicle; and 3) *car overtaking* requires the participants to quickly generate the proper set of responses as time pressure was at its most in comparison with the other driving events.

Our analytical approach also provides some insight as to the reactions of the older drivers in settings that were not threatening enough to generate crash. Indeed, we were clearly able to observe that one set of responses (decelerating and braking) was an appropriate reaction to such an event. For instance, *Pedestrians crossing* entailed mainly one driving maneuver (i.e., braking) that had to be performed within a restrained time frame. Not surprisingly, younger participants put more pressure on the brake than older drivers at the beginning of this event, the older drivers applied more pressure at the end of the event, a finding for which we offer two explanations. As a consequence of their recognized slower response speed (Verhaeghen and Salthouse, 1997), it is likely that older drivers would require more time to initiate the braking response. On the other hand, if older

drivers drove more strategically and anticipated that the pedestrians may cross the street, they may have driven more slowly and consequently would not need to brake as suddenly as the younger drivers. The fact that younger and older participants did not differ on any of the driving parameters recorded by the simulator at Time 0 (before the onset of the event) may suggest that slower response time is the most valuable interpretation. The *parked car incursion* event led to opposite response patterns in both age groups. During this event, the younger participants swerved more towards the left and drove faster, trying to pass the car making the incursion. In comparison, older drivers braked more heavily and had a tendency of remaining in their own lane. According to driving safety standards, older drivers definitely opted for a response that ensured the safety of all parties.

However, from a cognitive standpoint, one could conclude that the response of the younger drivers comprised elements of parallel responses while the reaction of the older drivers could be deemed more serial.

The differences between crashers and non-crashers on various cognitive measures are also indicative of the cognitive processes on which successful handling of a car in high risk situations rests on. Overall, crashers displayed lower scores on all UFOV subtests, while older crashers showed a lower performance on the divided attention and selective attention UFOV subtests in comparison to older non-crashers. This set of findings is in line with previous studies that have shown that tests involving reaction time with dual attention of visual information (i.e., visual secondary task and UFOV2) were strong predictors of older participants' crashes (Ball et al., 2006; Lee et al., 2002; Rizzo et al., 2004;). The visual secondary task administered in the simulator also discriminated crashers and non-crashers. Interestingly, it is the delayed responses to dual task events

that occurred during complex sections of the scenario (at intersections involving turns, traffic lights and stop signs) that offered some discrimination power a finding that could also be interpreted within Hakamies-Blomqvist et al. (1999) serial-parallel tendency framework. Consequently, this framework would predict that older drivers could not perceive or respond immediately to the dual task stimuli because of their higher likelihood to respond more serially to complex driving events. When the driving context becomes complex (turning, stopping or judging a traffic light), a delayed response or a lack of response to dual task events is more likely to occur. Finally, a subjective cognitive load measure, the NASA-TLX, revealed that crashers and non-crashers differed in their workload evaluation, crashers estimated their performance as worse compared to non-crashers and felt greater physical demand associated with the accomplishment of the maneuvers. Overall, these cognitive results support the importance of attention in older drivers' capabilities (Summala and Mikkola, 1994). As found in studies using simulator and on road assessment (Ball et al., 2006; Rizzo et al., 2004; Lee et al., 2002), divided attention to visual stimuli seems to mediate driving performance in older drivers and probably determine (at least partly) the serialisation nature of their responses.

Our results could also be interpreted within existing models of driving abilities (Lee and Strayer, 2004; Michon, 1985; Sheridan, 2004; Withaar et al., 2000). For instance, Sheridan (2004) postulates that age-related driving difficulties in the accomplishment of voluntary maneuvers within a small time frame should be greater whereas automatic driving maneuvers performed in simpler situations should be preserved (De Raedt and Ponjaert-Kristoffersen, 2000; Lee et al., 2002). According to Withaar et al. (2000), automatic and voluntary maneuvers interact in a very complex way. For instance, in the

event requiring the most driving maneuvers in a small time frame (i.e., *car overtaking*), a compensatory strategy exhibited by crashers (i.e., driving slower) was not sufficient to preserve them from colliding. As hypothesized by Hakamies-Blomqvist and colleagues (1999), older participants' crashes could be related to their inability to simultaneously achieve multiple driving maneuvers in a restricted time frame. Furthermore, these difficulties could underline a lack of flexibility from the tactical level to effectively respond to a non-routine situation (Bieliauskas, 2005). In fact, during this event the participants had to suddenly disengage from more automatic driving maneuvers (i.e., driving straight in the middle) and activate non standard reactions (i.e., avoid an oncoming vehicle by the sidewalk).

Even if a number of cognitive processes (from preattentional to attentional processing, disengaging from automatic responding, serialisation of responses, etc.) may be targeted to explain the present set of findings, we believe that our analytical approach allows a deeper understanding of what goes on when one has to react quickly to road threats. By looking at averages over a given number of time intervals that were tailored according to the duration of the event, we were able to compare the performance of drivers who drove at various speeds. We were also able to demonstrate that the reactions observed in one event were related to the responses to another challenging event. Crashers in the *car overtaking* scenario were found to have a delayed brake reaction when the pedestrians crossed the street. This finding indirectly supports the importance of the elevated time pressure feature of the *car overtaking* scenario. The time pressure seems to be an essential ingredient to discriminate serial from parallel driving tendency.

This study contains some limitations that may impact the external validity of our findings. The most important limit has to do with the relevance of exploring older drivers' reactions towards such critical simulated road events. For instance, the *car overtaking* event could be deemed very unusual and highly dangerous. Yet, it is essential to place older drivers in situations where strategical planning is not sufficient for them to escape the situation safely. Interestingly enough, the serial trait of older drivers' responses that we obtained in the *car overtaking* event is similar to the findings of Hakamies-Blomqvist and colleagues (1999), which were obtained on road. Another issue concerns the use of a secondary task while participants have to execute complex driving manoeuvres within a small time window. Previous analyses of dual task responses indicated that older drivers did not react to the dual task in the car overtaking scenario which is an indication of the complexity of the event and the fact that they prioritized the primary driving reactions over the dual task (Cyr et al., 2006).

Finally, the issue of SAS should be raised because simulation was aborted for several older drivers. This means that our findings were all obtained from older drivers who were not affected by SAS. It has yet to be demonstrated were SAS and non-SAS sensitive older drivers displayed similar driving abilities. However, demographic data (see Table 1) and statistical analyses performed on cognitive tests (UFOV and reaction time) did not yield significant differences between our participants who did suffer from simulator sickness and those who did not (see also Schwebel, et al. 2007 for a similar set of findings). It seems reasonable to believe that their driving reactions would not drastically differ.

Acknowledgements

This study was financially supported by an Ontario Neurotrauma Foundation grant to Dr. Sylvain Gagnon. Graduate scholarships were awarded to Alexandre Bélanger (National Sciences and Engineering Research Council of Canada) and Stephanie Yamin (Canadian Institutes of Health Research).

References

- Anstey, K.J., Woodm, J., Lord, S.R., Walker, J., 2005. Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review* 25, 45-65.
- Ball, K., Roenker, D., Bruni, J., 1990. Developmental changes in attention and visual search throughout adulthood. In Enns, J. (Ed.), *The development of attention: Research and theory*. North Holland: Elsevier Science Publishers, 489-508.
- Ball, K., Roenker, D., Wadley, V., Edwards, J., Roth, D., McGwin, G., Raleigh, R., Joyce, J., Cissell, G., Dube, T., 2006. Can high-risk older drivers be identified through performance-based measures in a Department of Motor Vehicles setting? *Journal of the American Geriatrics Society* 54, 77-84.
- Bieliauskas, L.A., 2005. Neuropsychological assessment of geriatric driving competence. *Brain Injury* 19, 293-301.
- Braekhus, A., Laake, K., Engedal, K., 1995. A low, 'normal' score on the Mini-Mental State Examination predicts development of dementia after three years. *Journal of the American Geriatric Society* 43, 656-661.
- Chandraratna, S., Stamatiadis, N., 2003. Problem driving maneuvers of elderly drivers. *Transportation Research Record* 1843, 89-95.

- Chaparro, A., Wood, J.M., Carberry, T.P., 2005. Effects of age and auditory and visual-dual tasks on driving. *Optometry and Vision Science* 82, 747-754.
- Clay, O.J., Wadley, V.G., Edwards, J.D., Roth, D.L., Roenker, D.L., Ball, K.K., 2005. Cumulative meta-analysis of the relationship between useful field of view and driving performance in older adults: Current and future implications. *Optometry and Vision Science* 82, 724-731.
- Cyr, A., Yamin, S., Bélanger, A., Hing, M., Marshall, S., Gagnon, S., 2006. Effect of old age on dual task performance during driving simulations of varying complexities. *Advances in Transportation Studies: An International Journal* 9, 31-46.
- De Raedt, R., Ponjaert-Kristoffersen, I., 2000. Can strategic and tactical compensation reduce crash risk in older drivers? *Age and Ageing* 29, 517-521.
- Dobbs, A.R., 2005. The development of a scientifically based driving assessment and standardization procedures for evaluating medically at-risk drivers. Communication presented at the Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference. Downloaded November 23rd 2007, at http://www.driveable.com/physician_materials/.
- Fricke, J., Unsworth, C.A., 2001. Time use and the importance of instrumental activities of daily living. *Australian Occupational Therapy Journal* 48, 118-131.
- Hakamies-Blomqvist, L., 1993. Fatal accidents of older drivers. *Accident Analysis and Prevention* 25, 19-27.
- Hakamies-Blomqvist, L., 1998. Older Drivers' accident risk: Conceptual and methodological issues. *Accident Analysis and Prevention* 30, 293-297.

- Hakamies-Blomqvist, L., Mynttinen, S., Backman, M., Mikkonen, V., 1999. Age-related differences in driving: Are older drivers more serial? *International Journal of Behavioral Development* 23, 575-589.
- Hart, S.G., Staveland, L.E., 1988. Development of a multi-dimensional workload rating scale: Results of empirical and theoretical research. In P.A., Hancock, N., Meshkati, (Eds.), *Human mental workload*, 139-183. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Hu, P.S., Trumble, D.A., Foley, D.J., Eberhard, J.W., Wallace, R.B., 1998. Crash risks of older drivers: A panel data analysis. *Accident Analysis and Prevention* 30, 569-581.
- Horberry, T., Anderson, J., Regan, M., Triggs, T., Brown, J., 2006. Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accident Analysis and Prevention* 38, 185-191.
- Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S., Lilienthal, M.G., 1993. A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology* 3, 203-220.
- Langford, J., Koppel, S., Andrea, D., Fildes, B., 2006. Determining older driver crash responsibility from police and insurance data. *Traffic Injury Prevention* 7, 343-351.
- Lee, H.C., Drake, V., Cameron, D., 2002. Identification of appropriate assessment criteria to measure older adults' driving performance in simulated driving. *Australian Occupational Therapy Journal* 49, 150-157.
- Lee, H.C., Lee, A.H., 2005. Identifying older drivers at risk of traffic violations by using a driving simulator: A 3-year longitudinal study. *The American Journal of Occupational Therapy* 59, 97-100.

- Lee, H. C., Lee, A. H., Cameron, D., Li-Tsang, C. (2003). Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *Journal of Safety Research*, 34, 453-459.
- Lee, J.D., Strayer, D.L., 2004. Preface to the special section on driver distraction. *Human Factors* 46, 583-586.
- Lyman, S., Ferguson, S.A., Braver, E.R., Williams, A.F., 2002. Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes. *Trends and Projections. Injury Prevention* 8, 116–120.
- Marottoli, R.A., de Leon, C.F.M., Glass, T.A., Williams, C.S., Cooney, L.M., Berkman, L.F., 2000. Consequences of driving cessation: Decreased out-of-home activity levels. *Journals of Gerontology Series B-Psychological Sciences and Social Sciences* 55, S334-S340.
- Mayhew, D.R., Simpson, H.M., Ferguson, S.A., 2006. Collisions involving senior drivers: High-risk conditions and locations. *Traffic Injury Prevention* 7, 117-124.
- McCarthy, D.P., 2005. Approaches to improving elders' safe driving abilities. *Journal of Physical and Occupational Therapy in Geriatrics* 23, 25-42
- Merat, N., Anttila, V., Luoma, J., 2005. Comparing the driving performance of average and older drivers: The effect of surrogate in-vehicle information systems. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 8, 147-166.
- Michon, J.A., 1985. A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L., Evans, R.C., Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485–520). New York: Plenum.

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2001. Ageing and transport: Mobility needs and safety issues. Report published by an OECD Scientific Expert Group, Paris, France.
- Persson, D., 1993. The elderly driver: Deciding when to stop. *Gerontologist* 33, 411–416.
- Ragland, D.R., Satariano, W.A., MacLeod, K.E., 2005. Driving cessation and increased depressive symptoms. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 60, 399–403.
- Reinach, S.J., Rizzo, M., McGehee, D.V., 1997. Driving with Alzheimer disease: The anatomy of a crash. *Alzheimer Disease and Associated Disorders* 11, 21-27.
- Rizzo, M., McGehee, D.V., Dawson, J.D., Anderson, S.N., 2001. Simulated car crashes at intersections in drivers with Alzheimer disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorders* 15, 10-20.
- Rizzo, M., Stierman, L., Skaar, N., Dawson, J.D., Anderson, S.W., Vecera, S.P., 2004. Effects of a controlled auditory-verbal distraction task on older driver vehicle control. *National Academy of Sciences: Transportation Research Record* 1865, 1-6.
- Schwebel DC, Ball KK, Severson J, Barton BK, Rizzo M, Viamonte SM. 2007.
Difference factors in risky driving among older adults. *Journal of Safety Research* 38, 501-509.
- Sheridan, T.B., 2004. Driver distraction from a control theory perspective. *Human Factors* 46, 587-599.
- Summala, H., Mikkola, T., 1994. Fatal accidents among car and truck drivers: Effects of fatigue, age, and alcohol consumption. *Human Factors* 36, 315-326.

- Verhaeghen, P., Salthouse, T.A., 1997. Meta-Analyses of age-cognition relations in adulthood. Estimates of linear and nonlinear age effects and structural models. *Psychological Bulletin* 122, 231-249.
- Williams, A.F., Shabanova, V.I., 2003. Responsibility of drivers, by age and gender, for motor vehicle crash deaths. *Journal of Safety Research* 34, 527-531.
- Withaar, F.K., Brouwer, W.H., Van Zomeren, A.H., 2000. Fitness to drive in older drivers with cognitive impairment. *Journal of the International Neuropsychological Society* 6, 480-490.

Figure Caption

Figure 1. Schematic representation of the simulated scenario including the position of the five surprising events.

Figure 2. Steering angle during *car overtaking considering crash occurrence and age group*.

Figure 3. Lateral acceleration for each interval in the *car overtaking event considering crash occurrence and age group*.

Figure 4. Simultaneous use of steering wheel and braking pedal during car overtaking considering crash occurrence and age group.

Figure 5. Number of periods when both steering wheel and brake pedal were activated during car overtaking considering crash occurrence and age group.

Figure 6. Pedal pressure for each interval of the *pedestrians crossing event considering crash occurrence and age group*.

Figure 7. Lateral acceleration for each interval of the *parked car incursion event considering age group*.

Figure 8. UFOV scores considering crash occurrence and age group.

Figure 9. Visual secondary task latency data during complex sections of the scenario considering crash occurrence and age group.

Figure 10. Visual secondary task accuracy scores results during complex sections of the scenario considering crash occurrence and age group.

Figure 11. Results obtained on the six subscales of NASA-TLX considering crash occurrence and age group.

Table 1. Demographic characteristics of the participants

Group	N	Age (years)		Gender		Years licensed		Km/Year	
		Mean	SD	Male	Female	Mean	SD	Mean	SD
25-42	20	29.5	4.32	10	10	11.40	11.90	10074.60	1985.12
65-83	20	73.4	5.17	9	11	48.65	7.90	8622.00	1147.78
SAS	12	74.6	5.43	5	7	50.85	7.95	8520.70	1211.97

Table 2. Characteristics of the challenging events.

Surprising events	Maneuvers required	Reaction time (ms)	Interval length (ms)
Car overtaking	Swerve toward the right sidewalk	2950 ±280	500
Parked car right	Brake or swerve toward the left in the opposite lane	6190 ±730	1000
Pedestrians crossing	Brake	3260 ±370	500
Car incursion	Brake or swerve toward the right	5760 ±520	1000

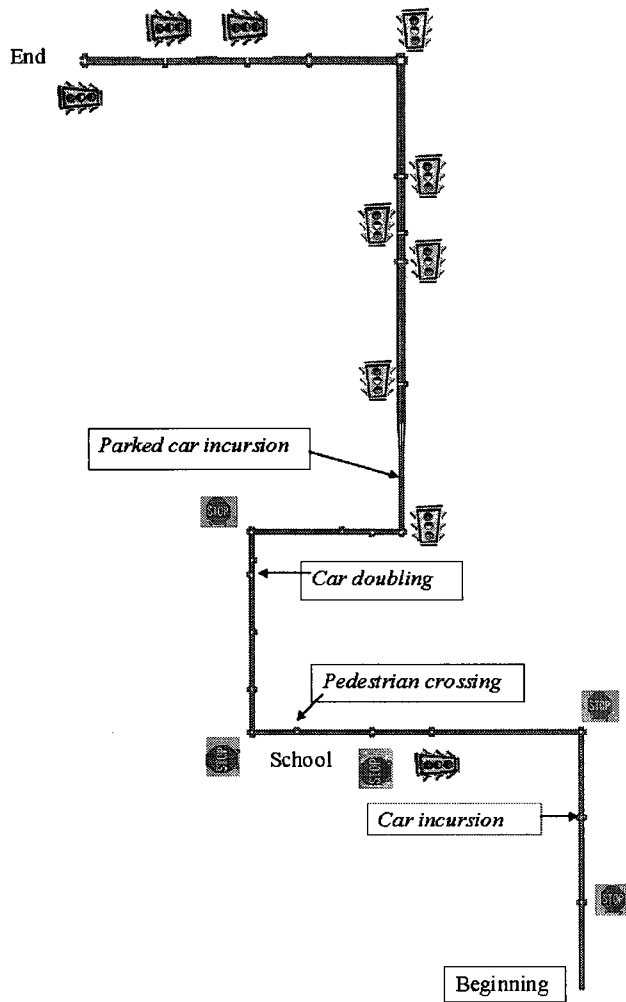


Figure 1.

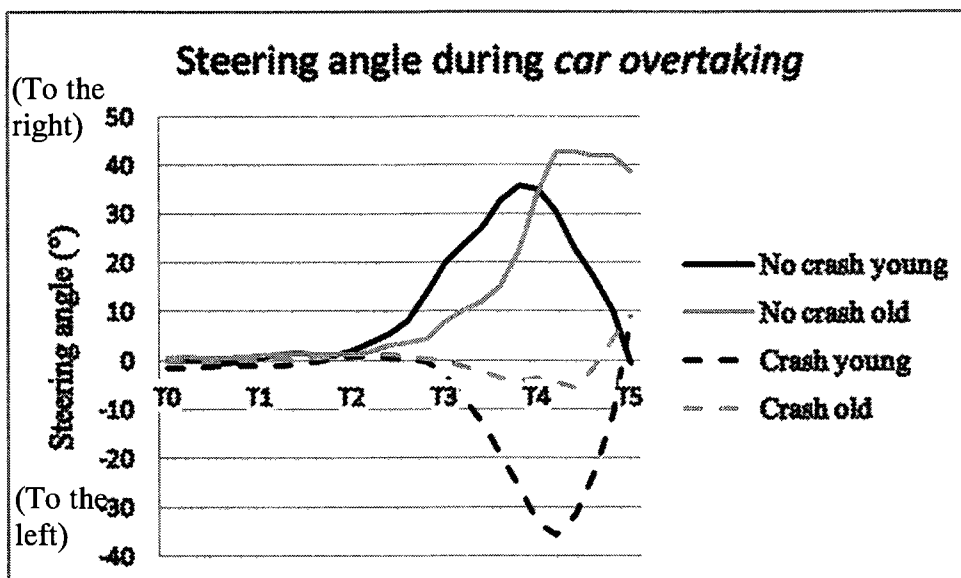


Figure 2.

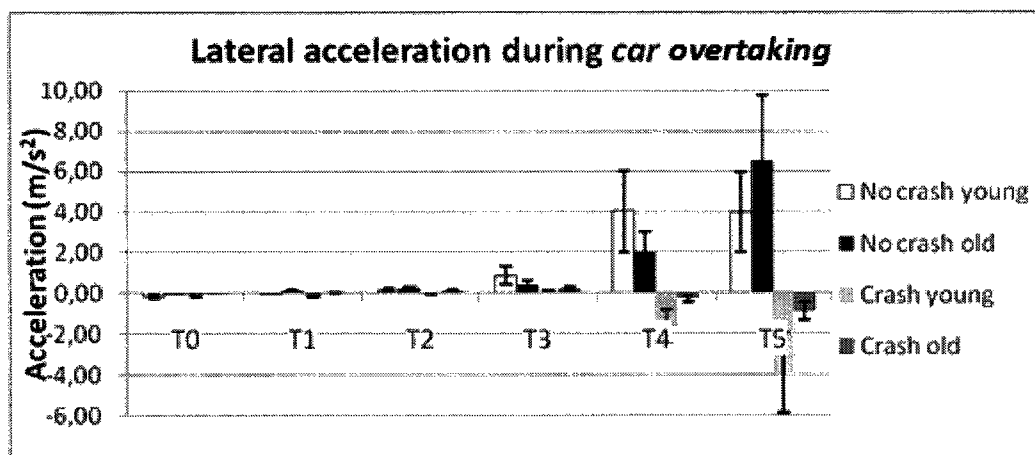


Figure 3.

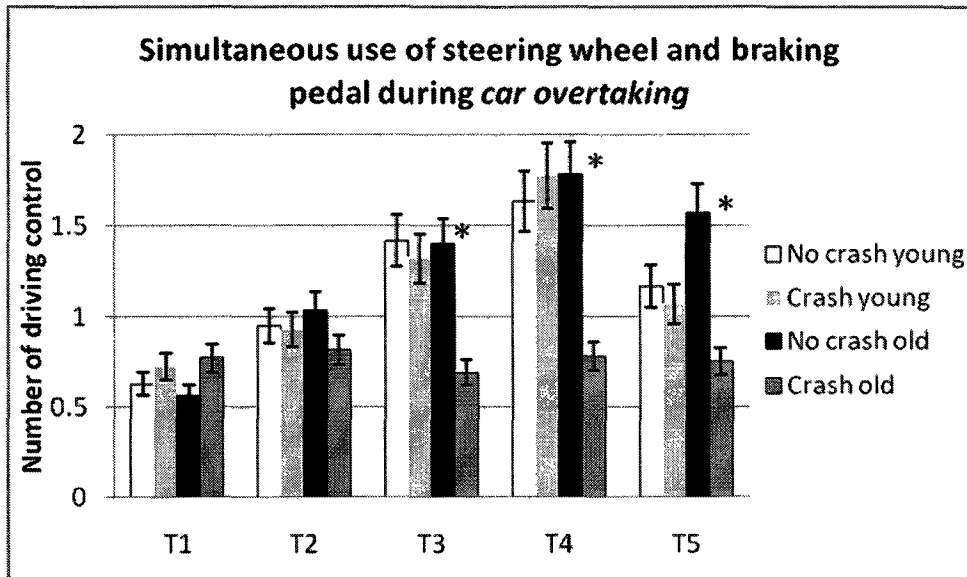


Figure 4.

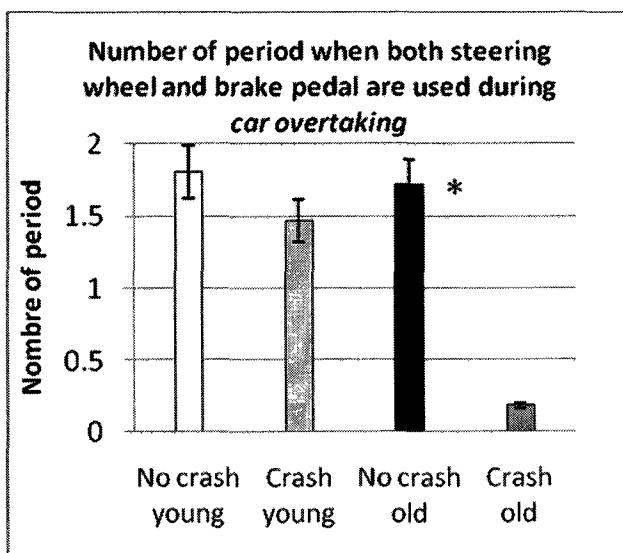


Figure 5.

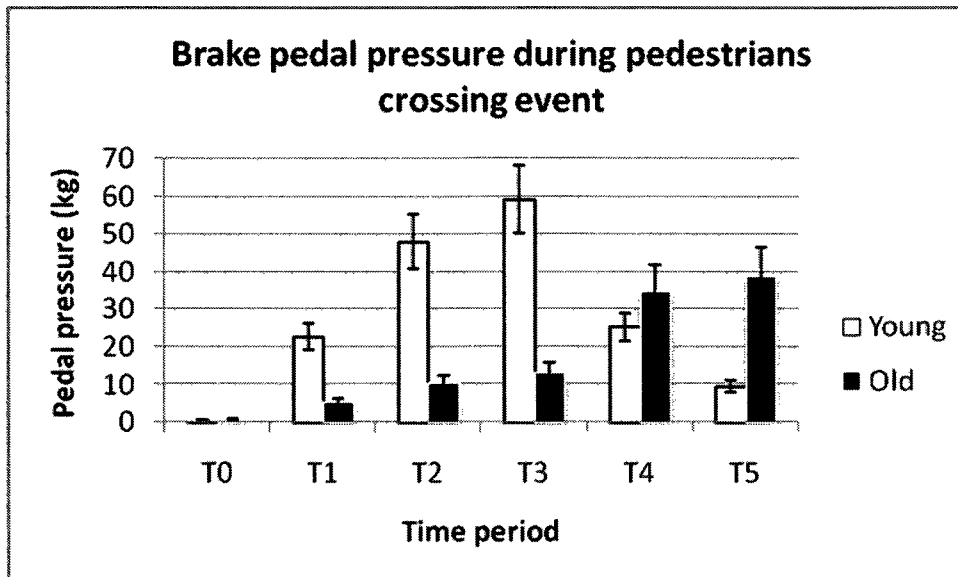


Figure 6.

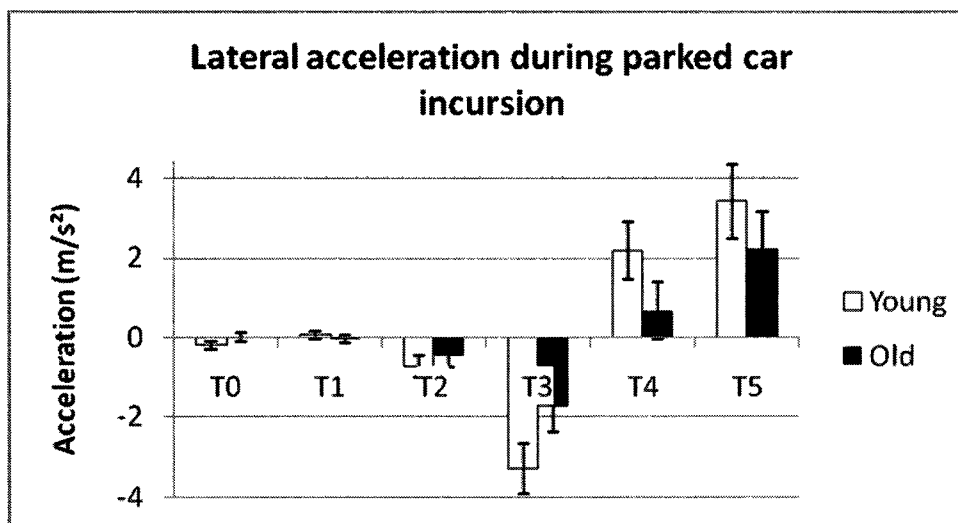


Figure 7.

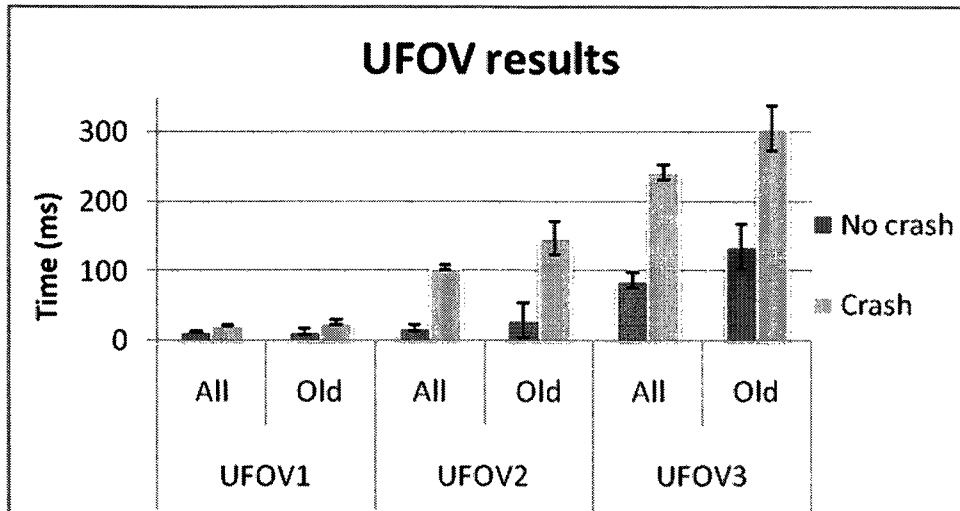


Figure 8.

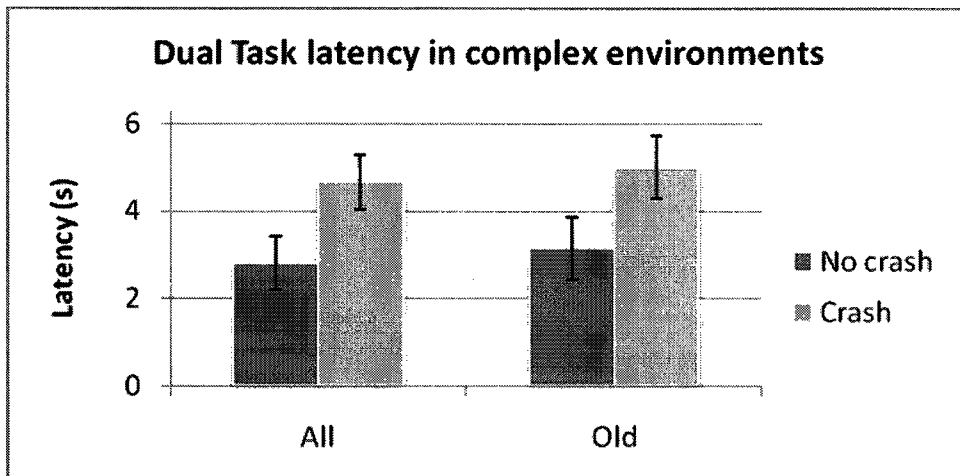


Figure 9.

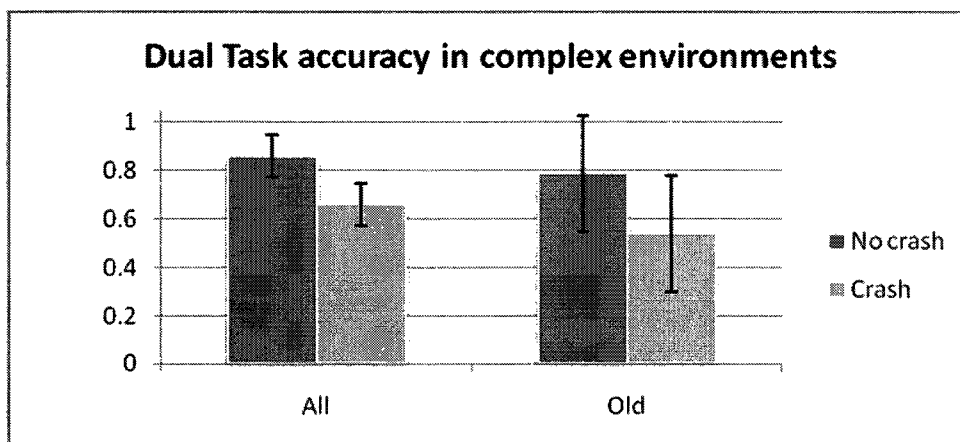


Figure 10.

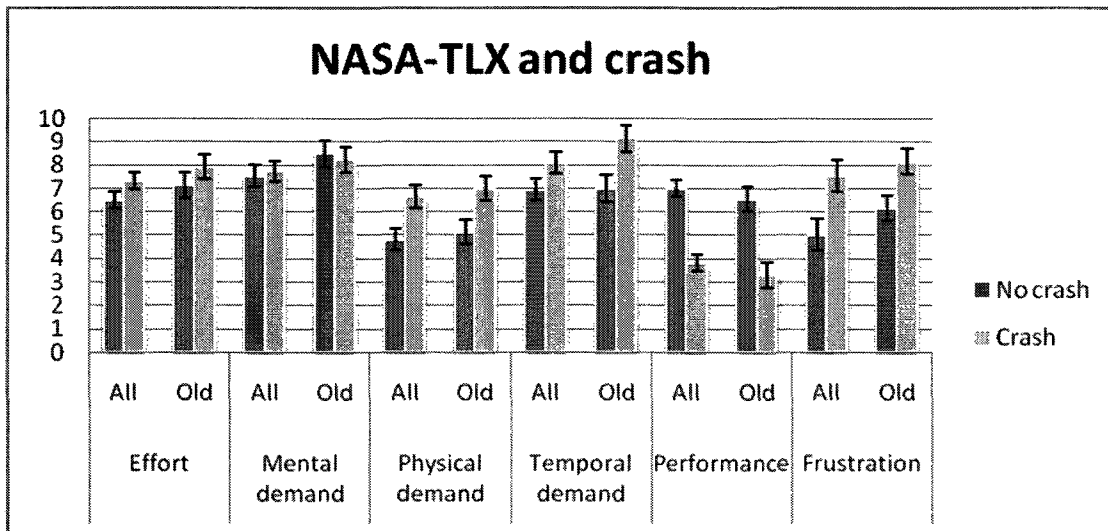


Figure 11.

2.4. Conclusion du Chapitre 1

2.4.1. *Charge cognitive*

La tâche secondaire visuelle dans le simulateur a été utilisée comme mesure de charge cognitive dans le but d'évaluer les effets reliés à la complexité de l'environnement et l'âge des participants (Horberry et al., 2005; Lee et al., 2002; Merat et al., 2005; Verwey et al., 2000) Dans un environnement plus complexe (virages), les conducteurs jeunes et âgés présentent un temps de latence accru et un rendement diminué comparativement à un environnement plus simple (conduite en ligne droite). La performance de l'ensemble des participants à la tâche secondaire est encore plus affectée durant les événements surprenants. L'âge augmente la charge cognitive de façon similaire durant l'ensemble des situations (simple, complexe ou événement surprenant). Toutefois, l'analyse individuelle des événements surprenants révèle une difficulté accrue chez les personnes âgées à répondre à la tâche secondaire à l'événement *dépassement imprudent*.

L'évaluation subjective de la charge cognitive a été évaluée exclusivement durant les événements surprenants et révèle une augmentation de la charge cognitive chez les personnes âgées. De plus, les participants jeunes et âgés ayant subi une collision durant *dépassement imprudent* rapporte une charge cognitive plus élevée et une performance moindre comparativement aux autres participants, ce qui est le reflet d'une bonne capacité d'introspection.

2.4.2. *Comportement Routier Virtuel*

En accord avec les études relevant de l'accidentologie (Blockey & Havley, 1995; Daigneault et al., 2002; Yan & Radwan, 2006), les conducteurs âgés réagissent de manière distinctive lors de certaines situations routières virtuelles. Plus précisément, nos

participants âgés ont montré plus de difficulté à faire face à une situation non familière requérant plusieurs manœuvres dans une fenêtre de temps restreinte. De fait, dans la situation dépassement imprudent, un nombre important de personnes âgées ont eu peine à activer le volant et la pédale de frein simultanément, un phénomène à l'origine de la majorité des collisions chez ce groupe d'âge. En comparaison, lorsque les participants ont été soumis à un événement où une seule manœuvre est requise (c'est-à-dire freinage pendant *passage de piétons*), les participants jeunes et âgés ont été en mesure d'éviter l'obstacle. Selon Hakamies-Blomqvist et al. (1999), certains conducteurs âgés compensent la réduction de leurs ressources cognitives attribuable au vieillissement en évitant l'activation simultanée de plusieurs commandes (séquentialisation). Comme l'avaient suggéré ces auteurs, nous observons que cette stratégie engendre des collisions lors d'une situation requérant plusieurs commandes de façon simultanée et rapide. Ainsi, certains conducteurs âgés présentent de la difficulté à se désengager de ce patron comportemental (séquentialisation) afin d'activer un comportement plus approprié et moins familier (activer plusieurs commandes de l'automobile de façon simultanée). Ces résultats sont en accord avec le modèle de contrôle optimal formulé par Sheridan (2004), suggérant une incapacité chez certains automobilistes âgés à changer leur patron de comportements en fonction de nouvelles demandes de l'environnement (voir aussi Belleville et al., 2006; Norman & Shallice, 1986).

Par ailleurs, le ralentissement cognitif dû au vieillissement (Salthouse, 1996) affecte les conducteurs âgés. Ces derniers activent les commandes du simulateur automobile plus lentement que les conducteurs d'âge intermédiaires (à l'événement *piétons imprudents* par exemple). En ce sens, lorsqu'on augmente le temps de réaction et

ce, même en situation non familière et complexe (voiture stationnée à droite), les personnes âgées sont en mesure d'éviter de façon sécuritaire la voiture faisant obstacle.

Ainsi, la première expérimentation suggère que la charge cognitive objective (tâche secondaire) est sensible à la complexité de l'environnement et à l'âge du participant. De plus, les conducteurs jeunes et âgés semblent conscients de leur performance. Par ailleurs, les fonctions exécutives et la vitesse de réaction semblent deux vecteurs importants de la capacité des conducteurs âgés à faire face aux situations complexes que nous avons utilisées dans la première étude.

3. CHAPITRE 2

Dans la seconde phase de cette thèse, nous poursuivrons l'analyse des difficultés des personnes âgées en réaction à des événements routiers surprenants et complexes. Rappelons que la première étude a révélé des différences entre les conducteurs d'âge moyen et les conducteurs âgés sur l'ensemble des situations inattendues simulées. La situation *dépassement imprudent* a permis de mettre à jour une stratégie compensatoire (séquentialisation) qui s'avère inadéquate. Conséquemment, lors de la seconde expérimentation, certaines caractéristiques de la situation *dépassement imprudent* seront examinées de manière plus approfondie dans le but d'identifier les causes probables des difficultés des conducteurs âgés. Par ailleurs, la tâche secondaire a été retirée pour s'assurer qu'elle n'affecte pas la performance des participants lors des événements surprenants.

3.1. Paramètres de la Situation *Dépassement Imprudent*

La situation *dépassement imprudent* présente des éléments distinctifs des autres situations inattendues utilisées jusqu'à présent. Premièrement, la situation *dépassement imprudent* était la seule qui nécessitait le déploiement de manœuvres simultanées avec une contrainte de temps importante. En effet, la situation *passage de piétons* pouvait être négociée avec succès par la production d'une seule manœuvre (freiner) tandis que la situation *voiture stationnée intrusive* allouait une période nettement plus longue pour réagir. Dans ce dernier cas, un freinage ou un changement de voie permettait d'éviter la collision. De plus, les résultats obtenus révèlent que seuls les conducteurs âgés impliqués dans une collision n'ont pas réussi à générer des réponses simultanées (freinage et changement de voie). Deuxièmement, la situation *dépassement imprudent* exige des conducteurs qu'ils déploient des manœuvres plus inhabituelles. En effet, les participants

devaient contourner la voiture venant à contre-sens en se dirigeant vers la droite (vers le trottoir). En comparaison, les comportements déployés lors des situations *passage de piétons* (freiner) et *voiture stationnée intrusive* (freiner et contourner vers la gauche en utilisant la voie à contre-sens) sont des manœuvres d'évitement plus habituelles.

Troisièmement, la situation *dépassement imprudent* offrait peu d'espace d'évitement aux participants comparativement à la situation *voiture stationnée intrusive*. Dans ce dernier cas, la voiture faisant obstacle pouvait être évitée en empiétant la voie à contre-sens. Ces caractéristiques relativement uniques à la situation *dépassement imprudent*, nous paraissent fort révélatrices de certains traits marquants du vieillissement cognitif, tel la séquentialisation, un manque de flexibilité cognitive et le ralentissement des réactions.

3.1.1. Séquentialisation

Selon Hakamies-Blomqvist et ses collaborateurs (1999), certains conducteurs âgés compensent la réduction de leurs ressources cognitives en utilisant les instruments de commandes de leur automobile de façon successive en opposition à une activation simultanée. Toutefois, cette stratégie compensatoire augmenterait le risque d'accidents lorsque les conducteurs âgés doivent faire face à une situation qui nécessite obligatoirement l'utilisation rapide et simultanée des commandes (Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Nos résultats abondent en ce sens puisque les personnes âgées ont présenté un taux accru d'accidents pendant la situation *dépassement imprudent* alors qu'elles devaient activer rapidement plusieurs commandes simultanément (pédale de frein et volant). Toutefois, rappelons que les conducteurs âgés n'ont eu aucun accident lorsqu'une seule commande était nécessaire (*passage de piétons*) ou lorsque plus de temps leur était alloué (*voiture stationnée intrusive*).

3.1.2. Indices environnementaux

Par ailleurs, des auteurs ont observé que les personnes âgées initient plus difficilement des comportements non familiers ou de nature complexe, ce qui pourraient également expliquer les lacunes observées lors de la situation *dépassement imprudent* (Beliaukas, 2005; Norman et Shallice, 1986). Ainsi, certaines personnes âgées présentent un déclin des fonctions exécutives qui se manifeste par une difficulté à se désengager des patrons comportementaux routiniers afin de s'adapter à un nouvel environnement (Belleville et al., 2006). Toutefois, Hasher et al. (2001) ont fait la démonstration qu'il était possible de pallier à cette rigidité en fournissant aux personnes âgées des indices facilitant l'amorçage de comportements non familiers et complexes. Les résultats obtenus lors de la première étude semblent en accord avec cette proposition, puisque certaines situations nécessitant le déclenchement de nouvelles réponses pouvaient être amorcées par la prise en compte d'indices contextuels. En accord avec cette interprétation, la situation *voiture stationnée intrusive* aurait été négociée avec succès par les personnes âgées en raison de l'information directionnelle fournie par la voiture qui s'immisce dans la voie du conducteur à partir de la voie d'accotement. À l'opposé, la voiture faisant obstacle dans la situation *dépassement imprudent* (elle fait face au conducteur) offre peu d'information directionnelle. Par ailleurs, la situation *dépassement imprudent* ne comporte pas d'espace d'évitement qui aurait pu inviter les conducteurs à contourner la voiture vers la droite. Dans la situation *voiture stationnée intrusive*, le participant pouvait amplement éviter la voiture faisant obstacle en raison de l'absence de circulation sur la voie à contre-sens. En somme, la situation *dépassement imprudent* comportait peu d'indices pouvant informer le conducteur de la manœuvre à amorcer.

3.1.3. *Ralentissement Cognitif*

Les difficultés observées à la situation *dépassement imprudent* peuvent également s'expliquer par un ralentissement cognitif et moteur, un trait marquant du vieillissement cognitif (Salthouse, 1989; Salthouse et al., 2003). De fait, en raison d'une vitesse de réaction plus lente, nombre de personnes âgées auraient été incapables d'éviter la voiture leur faisant face. Cette hypothèse est également appuyée par une comparaison des résultats de la situation *dépassement imprudent* aux résultats observés aux autres situations inattendues. En effet, il importe de rappeler que les personnes âgées impliquées dans une collision au scénario *dépassement imprudent* ont également présenté un freinage significativement plus tardif dans la situation *passage de piétons*. De plus, la prudence manifestée par les personnes âgées lors de la situation *voiture stationnée intrusive* pourrait s'expliquer par une pression temporelle moindre que lors de la situation *dépassement imprudent*. En roulant de manière générale à une vitesse moins élevée, les conducteurs âgés éviteraient de s'exposer à des situations à risques nécessitant le déclenchement rapide d'un ensemble de réponses. En somme, les problèmes d'initiation de réponses complexes appropriées des personnes âgées résulteraient simplement d'une pression temporelle trop importante.

3.2. Objectifs et Hypothèses

L'objectif principal de la seconde étude consiste à préciser davantage la cause des difficultés des conducteurs âgés à activer simultanément et rapidement plusieurs instruments de commande lors de la situation *dépassement imprudent*. Pour ce faire, nous avons élaboré six situations routières qui permettent d'explorer certaines facettes de cette situation en accord avec les interprétations préalablement décrites. Premièrement, nous

allons soumettre les participants à l'évènement *dépassement imprudent* dans la nouvelle version du simulateur afin de reproduire les résultats obtenus dans la première étude. Deuxièmement, nous allons examiner l'apport d'une voie de débordement à l'évènement *dépassement imprudent* en développant la situation *dépassement imprudent avec voie de débordement*. Troisièmement, nous avons développé un évènement surprenant avec une pression temporelle comparable à *dépassement imprudent* mais ne nécessitant qu'une seule manœuvre, nommé *freinage brusque*. Quatrièmement, nous ajouterons une voie de débordement à *freinage brusque* pour évaluer son effet. Cinquièmement, pour mettre en évidence l'importance du temps de réaction, nous allons réduire le temps de réaction durant *voiture stationnée intrusive* en développant *voiture stationnée à droite accélérée*. Sixièmement, nous avons évalué l'effet de la direction de l'évitement avec l'évènement *voiture stationnée à gauche*. Il est à noter que, lors de ce dernier évènement, la voiture obstructive doit franchir une plus grande distance car elle est stationnée du côté gauche de la route. Ainsi, comparativement à *voiture stationnée à droite accélérée*, la voiture faisant obstacle de *voiture stationnée à gauche* démarre plus tôt, afin que le mouvement initial respecte le même angle visuel.

Considérant la littérature de même que les résultats obtenus lors de la première étude, nous émettons l'hypothèse que les conducteurs âgés présenteront un taux plus élevé de collision dans la situation nécessitant l'activation de réponses simultanées. Par ailleurs, si les indices contextuels peuvent faciliter le déclenchement de réponses complexes, nous anticipons que le risque de collision diminuera dans les situations qui offrent un support environnemental directionnel (direction de la voiture obstructive) ou par l'entremise d'une voie d'évitement. Si l'interprétation relative au ralentissement

cognitif s'avère valable, la situation *voiture stationnée à droite accélérée* devrait également générer un plus haut taux de collision chez les conducteurs âgés. En ce qui a trait aux conducteurs d'âge moyen, les manipulations proposées devraient avoir un impact négligeable sur le déclenchement des réponses et sur le risque de collision.

Le second objectif consiste à préciser la sensibilité de certaines tâches cognitives quant à la prédiction du risque de collision des personnes âgées en situation virtuelle. Sur la base des résultats de l'Étude 1, nous anticipons que les tâches cognitives ciblant l'attention divisée visuelle et le déplacement de l'attention (UFOV2, UFOV3, Trail Making Test B et TRchoix) devraient être sensibles aux comportements erratiques manifestés par les personnes âgées. En contrepartie, les tâches cognitives évaluant uniquement le temps de réaction (TRsimple) ne devraient pas interagir avec la qualité d'exécution des conducteurs âgés.

3.3. Pré-Expérimentation

Dix participants ont d'abord été soumis aux six situations surprenantes. Cette pré-expérimentation a permis d'évaluer et d'adapter les situations afin qu'elles soient suffisamment complexes et inattendues pour pouvoir répondre aux objectifs de la seconde étude. Un questionnaire semblable à celui de la pré-expérimentation de l'Étude 1 a été utilisé afin de compiler les rétroactions des participants (voir Appendice A) et de les adapter en conséquence.

3.4. ARTICLE 3

Alexandre Bélanger¹ and Sylvain Gagnon¹

Correspondance: Sylvain Gagnon, Ph.D.

Abstract

The study examined avoidance behaviours of older and younger drivers in reaction to six simulated challenging road events using two different driving simulators. Thirty-five healthy adults aged 21 to 36 years old ($M = 28.9 \pm 3.96$) and 35 healthy adults aged 65 to 83 years old ($M = 72.1 \pm 4.34$) used a *widescreen simulator*, and 27 adults aged 21 to 38 years old ($M = 28.6 \pm 6.63$) and 27 healthy adults aged 65 to 83 years old ($M = 72.7 \pm 5.39$) were tested on a *portable simulator*. Participants were exposed to a set of six challenging events varying in terms of the manoeuvres required, avoiding space given, directional avoiding cues, and time pressure. Participants were also administered the Useful Field of View (UFOV), the Shipley Vocabulary test, single reaction time and choice reaction time tests. Results indicated that older drivers showed higher crash risk when events required multiple synchronized reactions. Analyses of the primary measures confirmed that older drivers' crashes are consistently associated with a less synchronized use of the driving commands (braking and steering). As for younger drivers, their crashes are attributable to faster driving speed. Our findings support the serialisation hypothesis to explain older drivers' increased crash risk during complex and time-pressured situations. We conclude that our observations are best explained by an age-related reduced cognitive flexibility.

1. Introduction

The number of older drivers on the road is expected to increase considerably in industrialized countries over the next five decades (Dobbs, 2008; OECD, 2001). For instance, in Canada, the most recent figures show that 13.2% of all drivers in 2006 were older drivers (65 and above), with projections indicating that this ratio could reach 23% by 2031 (Robertson and Vanlaar, 2008; Transport Canada, 2007). While the majority of older drivers are considered safe on the road, crash studies have shown that about 10% of the older driver population is overly represented when both crash occurrence and distance driven are considered (Eberhard, 2008; Lyman et al., 2002). Collision investigations have revealed that older drivers are significantly more involved in multiple cars collisions and also tend to be more at fault (Langford 2006) during collisions. Due to their frailty, they are also more likely to experience serious injuries or die as a result of a crash (Skyving et al., 2009). Researchers predict that by 2025, older drivers' fatalities will have tripled from their level of 1995 (Hu et al., 2000).

Nevertheless, driving cessation cannot be conceived as an ultimate strategy to reduce crash risk in older drivers. It is known to induce negative consequences, including social isolation, lost of self-esteem, symptoms of depression, and decreases in activities of daily living (Anstey et al., 2006; Mezuk and Rebok, 2008; Oxley and Whelan, 2008; Ragland et al., 2005). Consequently, a growing body of literature underlines the importance of reaching a better understanding of older drivers' characteristics in order to circumscribe the factors increasing crash risk in this population (Eby & Molnar, 2009; Fildes 2008; Molnar et al., 2006).

Accident analyses have been instrumental in that regard. They have shown that older drivers are more susceptible of crashing when simultaneously attending to several sources of information and performing multiple driving maneuvers, such as turning left at an intersection (Boufous et al., 2008; Mayhew et al., 2006; Skyving et al., 2009). Deficits in visual scanning impairments of busy driving environments are targeted as the main contributing factor (Braitman et al. 2008; Horswill et al., 2008; Staplin et al. 1991).

Accordingly, visual attention measures such as the Useful Field of View (UFOV ©) and the Trail Making Test are considered the best predictors of older drivers' performance and crash (Classen et al., 2008; Clay et al., 2005). However, all admit that their predictive power remains limited and that likelihood of crash cannot be exclusively based on visual attention scores. (Bohensky et al., 2008; Langford, 2008).

The most recent studies indicate that older drivers' on-road competency is multi-factorial and interactive (Anstey et al., 2005; Bekiaris et al., 2003; Kamenoff, 2008; Wood et al., 2008), but the exact elements of this cognitive and motor compound as well as their interactions have yet to be revealed (Bedard et al., 2008; Fildes 2008; Leproust et al., 2008; Wheatly et al., 2008). As an alternative solution to crash predictors, Hancock and de Ridder (2003) advocate for examining accident avoidance behaviours to better understand and predict traffic collisions. To that end, driving simulators allow for realistic interactions in crash-likely situations while escaping the inherent dangers of on road assessment (Fildes et al., 2007; Horberry et al., 2006; Rizzo et al., 1997, 2001).

Moreover, driving simulator performance has been validated against on-road performance (Lee and Lee, 2005; Winter et al., 2009). Using driving simulators, Hancock and de Ridder's (2003) observed that adult drivers (mean age 21.4) facing crash-likely

situations were more prone to swerve and less prone to brake. The authors concluded that a restricted viewing time of a crash-likely situation (about 1.2 seconds) would reduce drivers' response patterns to single reactions, i.e. swerving or braking, preventing the activation of simultaneous maneuvers. Interestingly, the difficulty to simultaneously engage several driving maneuvers has also been observed in the older population on a standard road course (Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Using an instrumented vehicle, Hakamies-Blomqvist and colleagues (1999) observed that a subgroup of older drivers were more likely to address situations requiring many maneuvers in a serial fashion (i.e. serialization), for instance, while turning left they broke down the entire manoeuvre in a sequence of simpler commands. According to these authors, this time consuming compensatory strategy could be unsafe when facing road situations that require rapid and simultaneous execution of multiple controls.

However, little is known about the nature of the older drivers' reactions during such complex and time pressured road situations. In most simulator and on-road studies, older drivers compensate for increased road demands by slowing down, allowing them to react appropriately to the road challenges they face (Chaparro et al., 2005; Merat et al., 2005; Rizzo et al., 2004). According to Merat and colleagues (2005), highly complex roads situations fully occupying older drivers' cognitive and motor resources could reveal age-related unsafe behaviours. Moreover, most studies have analyzed driving measures in a global fashion (i.e., average speed, overall variation through standard deviations, minimum or maximum values; Horberry et al., 2006; Lee et al., 2003; Lee & Lee, 2005; Merat et al., 2005; Yan et al. , 2007) and overlook the local reactions of the drivers that

could be revealing of serialisation (i.e. instant use of multiple commands; Hakamies-Blomqvist et al., 1999).

In a previous study, we thoroughly examined various avoidance reactions of 20 younger and 20 older adults who were tested in a driving simulator (Bélanger et al., in press).

After training with the simulator, participants completed driving scenarios that contained three events deemed challenging (see Table 1 for a description of the events). The challenging nature of the event had been supported by the reaction (accuracy and response time) to the visual detection secondary task while driving (Cyr et al., 2006). We decomposed the drivers' reactions to the events by averaging the various driving parameters (acceleration and deceleration parameters as well as lane deviation indices) into six short intervals. We observed an increased crash rate in the older group (65% old vs 30 % younger drivers) during the event *car overtaking*, which required simultaneous swerving and breaking reactions within a time window of 2.7 seconds. In this event, the driver saw a bus coming towards him in the opposite lane. A car was hidden behind the bus and decided to pass the bus using the drivers' lane. The important features of this event were the lack of avoiding space, the lack of avoiding cues provided by the obstructing car, and an elevated time pressure. The analysis of the drivers' reactions according to the six short time intervals revealed that older drivers who crashed fail to activate simultaneous reactions while all younger crashers were caught to swerve in the wrong direction. Our study also confirmed that UFOV test scores and visual detection dual task responses while driving the simulator were significant crash predictors (similar to Lee and Lee, 2005; Rizzo et al., 1997, 2001). Although the two other events did not generate crashes, older drivers drove slower and used brakes later in reaction to these

events (similar to; Fildes et al., 2007; Horberry et al., 2006; Merat et al., 2005; Schaap et al. 2008; Yan et al., 2007). We also observed that the crashers from the *car overtaking* event reacted slower to another challenging event (*pedestrians crossing*). Overall, our findings indicated that older drivers tended to react slower and in a more serial manner behind the wheel. However, it is possible that older drivers failed to launch responses due to the lack of cues provided by the obstructive car or the lack of space on the right hand side of the road. Finally, the above results were obtained under dual task conditions. One could argue that the dual task strained the drivers' resources, which prohibited older participants from triggering the most appropriate set of responses within the time frame given (Cantin et al., 2009; Merat et al., 2005).

Insert Table 1 about here

In the current study we further investigate age-related differences in accident avoidance behavior. We describe a procedure in which avoiding space and avoiding cues are manipulated during challenging events. We will again assess cognitive abilities known to be related to driving performances (i.e. single and choice reaction time, UFOV and Trail Making Tests; Anstey et al., 2005). Moreover, in order to replicate our previous findings and to increase the validity of the study, we enlarged the sample to 138 participants, and tested participants with two driving simulators (widescreen and portable). Finally, the dual task was removed. We expect to replicate older drivers' increased crash rate when the simultaneous activation of several controls is required (such as breaking and swerving). Older drivers are also expected to benefit from contextual cues provided (i.e. direction provided by the obstructive car or avoiding space).

2. Methods

2.1. *Driving simulators*

Participants were randomly assigned to the widescreen simulator or the portable simulator condition. The virtual driving environment of the two simulators was generated via the STISIM Drive software (version 2.08.04, Systems Technology Inc.). The driving variables of the two simulators were recorded at every 1/10 of a second.

2.1.1. *Widescreen simulator*

The widescreen simulator was equipped with three NEC projectors providing a forward field of view of 135 degrees (see Figure 2). The software was run on a Windows XP operating system and on 4 Dell computers equipped with Intel Core 2 processor and NVIDIA GeForce 8800 GTX video cards. Video scenes were displayed at a rate of 30 frames per second. Driving controls were manufactured by STISIM Drive and included a 12 inches steering wheel with force feedback, and pedals for braking and accelerating.

Insert Figure 2 about here

2.1.2. *Portable simulator*

The portable simulator consisted in a laptop equipped with driving game controls (see Figure 3). The laptop was a 17 inches *Dell precision m6300* providing a forward field of view of 60 degrees. The software was run on a Windows XP operating system with an Intel Centrino processor and a NVIDIA Quatro FX 1600M video card. The *Logitech G25 Racing Wheel* was used for driving controls; it features an 11 inches steering wheel with force feedback and pedals for braking and accelerating, as well as a clutch which was deactivated for the purpose of our experiment.

Insert Figure 3 about here

2.2. *Participants*

All participants were first screened for physical and mental health using a comprehensive health questionnaire administered over the phone. Older participants were also tested for significant cognitive deterioration using the Mini-Mental State Examination (MMSE; cut off was set at 25; Braekhus et al., 1995). All older participants scored above 25 on the MMSE and were deemed cognitively healthy. All younger and older participants had at least five years of driving experience. Yearly average distance driven did not differ significantly between age groups and simulator assignment. Similarly, participants in the two simulator groups did not differ on the basis of the demographic variables that we collected.

2.2.1. Participants assigned to the widescreen simulator

This convenience sample was composed of 35 older and 35 younger participants (see Table 2). Initially, 84 participants drove the widescreen simulator but 14 (11 older and 3 younger) withdrew due to symptoms typical of the Simulator Adaptation Syndrome (SAS). These symptoms were monitored using the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) in order to prevent unnecessary exposure to driving simulation (Kennedy et al., 1993). However, SAS participants did not exhibit differences in their demographic variables compare to SAS-free participants.

Insert Table 2 about here

2.2.1. Participants assigned to the portable simulator

The convenience sample of the portable simulator was composed of 27 older and 27 younger participants (see Table 3). None of the participants tested on the portable simulator suffered from SAS.

Insert Table 3 about here

2.3.1. Simulated Scenario

The scenario was based on a simulated driving test circuit developed by Weaver, Bédard, McAuliffe and Parkkari (2009). Modifications were made to the original circuit in order to create six highly similar road segments, each allowing the inclusion of any of the six challenging events described below. During the 12.3 km scenario, participants encountered various roadway settings (two lane streets, four lane streets, four lane highways, curves and intersections) and were required to perform a panoply of driving maneuvers totaling four left turns, eight right turns, five stops and two lane changes. Six versions of the scenario were generated to counter balance the presentation order of the challenging events. These challenging events varied in terms of driving maneuvers required and cues, namely avoiding space (shoulder or not), avoiding cues (obstructing car indicates the avoiding direction or not) and avoiding direction (toward the right or left; see table 4 for further details). The challenging events consisted of:

Insert Table 4 about here

1) *Overtaking*: The driver is approaching an oncoming bus positioned in the opposite lane that is occluding a car behind it. The occluded car swiftly moves into the driver's lane in an attempt to pass the bus, thus blocking the driver's path. The event is designed so that when the time between the occluded car and the driver's vehicle is three seconds, the occluded car travels three meters into the driver's lane at a speed of 15 m/s.

2) *Overtaking with shoulder*: This event is identical to *overtaking* with the addition of an avoiding lane on the driver's right side (see Fig.1)

Insert Figure 1 about here

3) *Right incursion*: The driver approaches a car parked on the right hand side of the road. When the parked car and the driver are within 1.5 seconds of each other, the parked car pulls 3.75 meters into the roadway and gradually accelerates until it reaches a speed of 4 m/s faster than the driver, obstructing the driver's path. There are no oncoming vehicles in the opposite lane.

4) *Left incursion*: The driver approaches an ambulance parked on the left hand side of the road in the opposite direction of the traffic flow (same direction as the driver). When the parked vehicle and the driver's car are within 2.5 seconds of each other, the ambulance pulls 6.5 meters into the roadway, obstructing the driver's path. The ambulance then gradually accelerates until a speed of 4 m/s faster than the driver's speed is reached. An avoiding lane is provided on the driver's right side and there are no oncoming vehicles in the opposite lane. Compared to *right incursion*, the ambulance parked on the left hand side has more distance to travel. Therefore, to ensure an initial movement of the obstructing vehicle within the same angle of vision for *left incursion* and *right incursion*, the ambulance begins to move earlier than in the *right incursion* event.

5) *Sudden brake*: The driver is approaching at 1.5 meters behind a car which was programmed as to maintain the same speed as the driver. After 150 meters, the leading car completely stops within 2.5 seconds without turning on its brake lights. During the event, cars were driving in the opposite lane.

6) *Sudden brake with shoulder*: This event is identical to *sudden brake* with the addition of an avoiding lane on the driver's right side.

2.3. Cognitive measures

All participants were administered the UFOV ®, a computerized test battery consisting of three subscales measuring processing speed, divided attention and selective attention (Ball et al., 1990). Single reaction time (singleRT) and choice reaction time (choiceRT) were assessed through computerized tasks programmed via E-Prime Version 1.1.4.4 (Psychology Software Tools Inc.). Each reaction task was composed of 60 trials and each trial lasted a maximum of five seconds. The single reaction time consisted of pressing the space bar when a black triangle appeared in the center of the computer screen. In the choice reaction time, participants were required to fixate on two circles that were consistently displayed on the screen and press the “1” key on the numeric keyboard if the left circle shifted shape to a square and press the “3” key if the right circle shifted. Additionally, cognitive measures included the paper and pencil version of the parts A and B of the Trail Making Test (TMT; Reitan, 1958; Spreen and Strauss, 1998). In TMTA participants join consecutive numbers that are randomly displayed on a letter size sheet of paper whereas in TMTB they join consecutive numbers and letters alternatively following the alphanumeric sequence (e.g. 1, A, 2, B, etc.). Time of completion was recorded for each part and used for correlation purposes. Also, participant’s global intelligence was measured using the Shipley Vocabulary test (Prokosch et al., 2005; Shipley, 1946). During this test 40 target words are presented and for each one, participants are forced to choose from four option words the one closest in meaning to the target.

2.4. Procedures

After informed consent was obtained, the single reaction time, choice reaction time, TMTA, TMTB, MMSE, UFOV and Shipley Vocabulary were administered. Following

this, participants familiarized themselves with the simulated environment during a 25 minute training session tackling five driving maneuvers of increasing complexity: 1) Speed; 2) Steering; 3) Braking; and 4) Turning (see Cyr et al., 2006 for further details concerning training). Once training was completed, participants were randomly assigned to one of the six versions of the scenarios containing the challenging events.

2.5. Data analysis plan

All analyses were executed using SPSS (V.15) software package (SPSS Inc, Chicago, Ill). The same analyses were performed separately for the two simulators as distinct driving instruments were used for each setting. Preliminary analyses indicated that the sequence of the challenging events (version 1 through 6) and participants' gender (male versus female) did not have a significant effect on the crash rate for both age groups and in both settings. For that reason, gender and sequence of events were not further considered statistically.

2.5.1. Crash rate

The first series of analyses examined crash rate proportion according to Age (Younger vs. Older) for every challenging event, using *chi squares*. Additionally, non-parametric correlation analyses were performed on crash occurrence between the various challenging events in order to provide further indication of reliability.

For ease of statistical analyses of crashers and non-crashers, the results of an age group were considered when at least 20% of the participants of a given age group crashed. This assures that each cell (crashers vs non-crashers) contained a sufficient number of participants (Widescreen, $n_{\min}=7$; Portable, $n_{\min}=5$). Accordingly, older crashers and non-crashers were compared in both simulators during the events *overtaking*, *overtaking with*

shoulder, and *right incursion*, whereas younger crashers and non-crashers were compared in both simulators for *sudden brake* and *sudden brake with shoulder* events (see Figures 4 and 8).

2.5.2. Primary measures

Following the statistical procedure of Bélanger et al. (in press), participants' driving reactions were averaged according to six equivalent time intervals. One interval preceded the onset of the challenging event (baseline, T0) while the five other time intervals corresponded to its duration (T1-T5). For all events, the duration of these intervals were set at 500 ms because all crashes occurred after 2700 ms (see table 4), and also because simulator's data were temporally erratic immediately after a collision (when crashes occur, a static image of a broken windshield is displayed and a few hundredths of a second were needed before the controls are given back to the driver).

The first analyses of the primary measures explored the serialization hypothesis. Therefore, groups of participants exhibiting a significant crash rate were examined while considering the simultaneous use of steering wheel and brake pedal (similar to Bélanger et al., 2009 and Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Participants were rated on a straight road section with no surprising events for their use of the steering wheel (1 or 0) and the brake pedal (1 or 0), for a maximum score of 2. Scores were first obtained by averaging the standard deviations of steering wheel angle and brake pressure at T0s for each surprising event (Table 5), and then were dichotomised as a function of the standard deviations. A score of 1 was attributed to raw scores ranging beyond one SD, while a score of 0 was attributed to scores below one SD. Older drivers' transformed scores were

then analysed via a mixed ANOVA that included Crash (Yes or No) and Time Interval (T1 to T5).

Insert Table 5 about here

Subsequently, comparisons between crashers and non-crashers were explored via three variables recorded by the simulator: steering (lateral acceleration), braking (brake pedal pressure) and speed (longitudinal velocity) following the statistical strategy that we used in our previous study (Bélanger et al., in press). The mean scores of these variables for each of the six intervals were analyzed via a series of mixed ANOVAs that incorporated the factors Crash (Crash and Non-crash) and Time Interval (T0 to T5).

During the event *left incursion*, few participants from either age group collided (fewer than 20%). Therefore, this event was analyzed via a series of mixed ANOVAs that incorporated the factors Age (Younger and Older) and Time Interval (T0 to T5).

Analyses of the event *left incursion* included the simultaneous use of steering and braking, but also brake pressure, lateral acceleration and longitudinal velocity.

Furthermore, a series of analyses explored the avoiding space manipulation by examining whether the presence of a shoulder (*overtaking* versus *overtaking with shoulder* and *sudden brake* versus *sudden brake with shoulder*), had an influence on driving performance for the two simulators. The shoulder effect was examined with the variable lateral acceleration via a series of ANOVAs including the factors Shoulder (Shoulder and Non-Shoulder), Crash (Crash and Non-crash), Age (Younger and Older), and Time Interval (T0 to T5).

ANOVAs revealing significant interactions were dissected through simple effect tests while applying the Bonferroni adjustment.

2.5.3 Cognitive measures

For each setting, the cognitive measures (UFOV, TMTA, TMTB, Shipley Vocabulary singleRT and choiceRT) were analyzed through *t-tests* comparing crashers and non-crashers on all challenging events except *left incursion* for reasons given above.

Furthermore, the same analyses were run exclusively with older drivers to determine whether findings are stable across age groups. In addition, correlations were performed between the number of crashes through all events and the participants' scores on each test.

In order to shorten the results section, only significant results are presented. However, results of all the ANOVAs performed are provided in Tables 6-9.

Insert Table 6-9 about here

3. Results

3.1. Widescreen simulator

3.1.1. Crash rate for all events

Using the widescreen simulator, older drivers exhibited a higher likelihood to crash compared to younger drivers during *overtaking* [$\chi^2(1, N=70)=13.78, p<0.01$], *overtaking with shoulder* [$\chi^2(1, N=70)=15.97, p<0.01$], as shown on Figure 4. None of the other events generated age group differences related to crash rate. However, in the *right incursion*, more than 20% of the older adults collided with the obstructing car while in the *sudden brake* and *sudden brake with shoulder* events, more than 20% of the younger participants crashed to both of the events. For that reason, old crashers and non-crashers were statistically compared in the *right incursion* event. Younger crashers and non-crashers in reaction to the breaking events were also compared. Correlation analyses of

crash occurrence between events were significant for *overtaking with overtaking with shoulder* [$r(68)=0.37, p<0.05$], *overtaking with right incursion* [$r(68)=0.35, p<0.05$] and *sudden brake with sudden brake with shoulder* [$r(68)=0.38, p<0.05$].

Figure 4 about here

3.1.2. Overtaking

Analyses of older drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal during *overtaking* revealed a Crash by Time Interval interaction effect, $F(1, 33)=11.87, p<0.01$. Simple main effect analyses showed that older crashers used controls less simultaneously compared to older non-crashers at T3 ($M=0.94$ vs. $M=1.63$ $SEM=0.24, p<0.05$), T4 ($M=0.83$ vs. $M=1.72$ $SEM=0.23, p<0.05$) and T5 ($M=0.73$ vs. $M=1.62$ $SEM=0.22, p<0.05$).

Analyses of variance of older drivers' lateral acceleration during *overtaking* revealed a significant Crash by Time Interval interaction [$F(1, 33)=19.68, p<0.01$], with older crashers accelerating less toward the right compared to non-crashers at T4 ($M=0.05$ vs. $M=0.54, SEM=0.14, p<0.05$) and T5 (older $M=0.12$ vs. $M=0.91, SEM=0.14, p<0.05$). With regards to braking, Crash by Time Interval ANOVA was also deemed significant, $F(1, 33)=4.88, p=0.05$, with older crashers braking less than older non-crashers at T4 ($M=18.15$ vs. $M=2.04$ $SEM=1.21, p<0.05$) and T5 ($M=17.57$ vs. $M=2.52$ $SEM=1.79, p<0.05$).

3.1.3. Overtaking with shoulder

Similarly to the previous challenging event, analyses of older drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal revealed a Crash by Time Interval effect, $F(1, 33)=13.23, p<0.01$. Simple main effect analyses revealed that older crashers responded in

a more serialized way than older non-crashers drivers at T3 ($M=0.37$ vs. $M=0.63$ $SEM=0.11$, $p<0.05$), T4 ($M=0.63$ vs. $M=1.03$ $SEM=0.12$, $p<0.05$) and T5 ($M=0.54$ vs. $M=1.15$ $SEM=0.13$, $p<0.05$).

Older drivers' analyses of variance during *overtaking with shoulder* event revealed a significant Crash by Time Interval interaction for lateral acceleration [$F(1, 33)=19.22$, $p<0.01$], with older crashers accelerating less toward the right than non-crashers at T5 ($M=0.27$ vs. $M=1.07$, $SEM=0.61$, $p<0.05$). Crash by Time Interval interaction was also significant for braking [$F(1, 33)=8.41$, $p<0.01$], with older crashers braking less than older non-crashers at T5 ($M=5.34$ vs. $M=19.57$ $SEM=2.87$, $p<0.05$).

3.1.8. Right incursion

Analyses of older drivers' simultaneous use of steering wheel and brake pedal during *right incursion* event revealed a Crash by Time Interval effect, $F(1, 33)=9.88$, $p<0.01$. Simple main effect contrasts indicated once again that older crashers were less inclined to perform the two actions simultaneously compared to older non-crashers at T3 ($M=0.57$ vs. $M=1.23$ $SEM=0.24$, $p<0.05$), T4 ($M=0.61$ vs. $M=1.33$ $SEM=0.23$, $p<0.05$) and T5 ($M=0.60$ vs. $M=1.42$ $SEM=0.22$, $p<0.05$).

Analyses of variance of older drivers' brake pressure revealed a significant Crash by Time Interval interaction [$F(1, 33)=12.19$, $p<0.01$] with older crashers braking less than older non-crashers at T4 ($M=2.14$ vs. $M=13.20$ $SEM=1.37$, $p<0.05$) and T5 ($M=7.66$ vs. $M=25.34$ $SEM=2.25$, $p<0.05$).

3.1.5. Sudden Brake

Analyses of younger drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal during *sudden brake* event did not yield any significant differences between crashers and

non-crashers. However, analyses of variance applied to the longitudinal velocity variable led to a significant Crash by Time Interval interaction [$F(1, 33)=15.89, p<0.01$] with younger crashers driving faster than younger non-crashers at T0 ($M=16.50$ vs. $M=12.32$ $SEM=1.54, p<0.05$), T1 ($M=16.78$ vs. $M=11.88$ $SEM=1.42, p<0.05$), T2 ($M=16.94$ vs. $M=11.81$ $SEM=1.40, p<0.05$), T3 ($M=16.65.04$ vs. $M=11.68$ $SEM=1.38, p<0.05$) and T4 ($M=15.72$ vs. $M=10.62$ $SEM=1.39, p<0.05$).

3.1.6. Sudden Brake with shoulder

The event *sudden brake with shoulder* led to a significant Crash by Time Interval interaction in younger drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal $F(1, 33)=16.67, p<0.01$. Simple main effect analyses revealed that younger crashers tended to activate fewer controls in comparison to younger non-crashers at T3 ($M=0.61$ vs. $M=1.02$ $SEM=0.19, p<0.05$), T4 ($M=0.69$ vs. $M=1.38$ $SEM=0.20, p<0.05$) and T5 ($M=0.73$ vs. $M=1.45$ $SEM=0.21, p<0.05$).

Moreover, *sudden brake with shoulder* event analyses showed a significant interaction between Crash by Time for the lateral acceleration variable [$F(1, 33)=13.27, p<0.01$], with younger crashers swerving less towards the right shoulder than younger non-crashers at T3 ($M=0.13$ vs. $M=1.19, SEM=0.21, p<0.05$), T4 ($M=0.07$ vs. $M=1.27, SEM=0.23, p<0.05$) and T5 ($M=0.03$ vs. $M=1.34, SEM=0.25, p<0.05$). The longitudinal velocity variable also led to a significant Crash by Time interaction [$F(1, 33)=16.54, p<0.01$], with younger crashers driving faster than younger non-crashers at T3 ($M=13.78$ vs. $M=9.11$ $SEM=0.38, p<0.05$).

3.1.9. Left incursion

Somewhat in contrast with the current trend, the analyses of the simultaneous use of the steering wheel and brake pedal during *left incursion* yielded a significant Age by Time Interval effect, [$F(1, 66)=9.92, p<0.01$]. This interaction was caused by a greater use of both actions in older drivers at T5 compared to younger drivers at T5 ($M=1.68$ vs. $M=1.22$ $SEM=0.21, p<0.05$).

Analyses of variance yielded a significant Age by Time Interval interaction for lateral acceleration [$F(1, 66)=6.12, p<0.05$], with older drivers accelerating less toward the right than younger ones at T5 only ($M=1.67$ vs. $M=2.60, SEM=0.12, p<0.05$). Similarly, the variable brake pressure resulted in significance for the Age by Time Interval interaction [$F(1, 66)=7.07, p<0.05$]. Simple main effects contrasts indicated that older drivers pressed more on the brake pedal than younger ones at T5 ($M=12.87$ vs. $M=6.91$ $SEM=2.67, p<0.05$).

3.1.4. Shoulder effect

Comparisons between *overtaking with shoulder* and *overtaking* revealed an Age by Shoulder effect for lateral acceleration [$F(1, 66)=11.02, p<0.01$], but only younger drivers benefitted from the shoulder by swerving more toward the right at T5 (*overtaking with shoulder* $M=1.62$ vs. *overtaking* $M=0.71, SEM=0.28, p<0.05$).

Comparisons between events *sudden brake with shoulder* and *sudden brake* tackling lateral acceleration [$F(1, 66)=11.76, p<0.01$] revealed that younger drivers swerved significantly more towards the right when comparing *sudden brake* to *sudden brake with shoulder* at T3 ($M=0.11$ vs. $M=1.19, SEM=0.19, p<0.05$), T4 ($M=0.09$ vs. $M=1.27, SEM=0.20, p<0.05$) and T5 ($M=0.12$ vs. $M=1.34, SEM=0.23, p<0.05$).

3.1.10. Cognitive measures

The first set of analyses compared older crashers and non-crashers from each challenging event on all cognitive measures. Older crashers from the *overtaking* event were slower than the non-crashers on choiceRT [$t(33)=2.91, p<0.05$], and obtained lower scores on the UFOV2 [$t(33)=2.58, p<0.05$], UFOV3 [$t(33)=3.17, p<0.01$] and TMTB [$t(52)=2.42, p<0.05$], see Figures 4-6. Moreover, older crashers from the *overtaking with shoulder* event were slower than the non-crashers on choiceRT [$t(33)=2.74, p<0.05$], and scored lower on UFOV2 [$t(33)=3.07, p<0.01$], UFOV3 [$t(33)=3.04, p<0.01$] and TMTB [$t(52)=2.42, p<0.05$]. Older crashers from the *sudden brake* obtained lower scores than the older non-crashers on UFOV2 [$t(33)=2.19, p<0.05$] and UFOV3 [$t(33)=2.24, p<0.05$], a finding that was also observed in the *sudden brake with shoulder* event; UFOV2 [$t(33)=3.70, p<0.01$] and UFOV3 [$t(33)=3.21, p<0.01$]. Finally, older crashers from the *right incursion event* obtained lower scores only on the UFOV2 [$t(33)=1.93, p<0.05$]. An examination of the correlations between older adults' cognitive performance and their number of crashes showed significance for UFOV2 [$r(68)=0.41, p<0.05$], UFOV3 [$r(68)=0.36, p<0.05$] as well as TMTB [$r(68)=0.38, p<0.05$].

Insert figures 5-7 about here

In contrast with the older adults' pattern of results, the analyses performed on cognitive measures in the group of younger drivers did not lead to any significant differences between younger crashers and non-crashers.

3.2. Portable simulator

3.2.1. Crash rate for all events

Older drivers tested on the portable simulator exhibited a higher likelihood to crash compared to younger drivers during events *overtaking* [$\chi^2(1, N=54)=21.13, p<0.05$],

overtaking with shoulder [$\chi^2(1, N=54)=31.68, p<0.05$] and *right incursion* [$\chi^2(1, N = 54)=21.13, p < 0.05$], as shown on Figure 6. As for younger drivers, they crashed more than older ones during *sudden brake* [$\chi^2(1, N=54)=16.77, p<0.05$]. Along the same line, more than 20% of the young drivers were found to crash in the sudden brake with shoulder event. Correlation analyses of crash occurrence between events were significant for *overtaking with overtaking with shoulder* [$r(52)=0.58, p<0.01$], *sudden brake with sudden brake with shoulder* [$r(52)=0.33, p<0.05$] and *overtaking with right incursion* [$r(52)=0.31 p<0.01$].

Insert figure 8 about here.

3.2.2. Overtaking

Analyses of older drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal revealed a Crash effect, $F(1, 25)=8.26, p<0.01$. Analyses of simple main effects indicated that older crashers used controls less simultaneously than older non-crashers at T3 ($M=0.82$ vs. $M=1.43$ $SEM=0.26, p<0.05$), T4 ($M=0.72$ vs. $M=1.69$ $SEM=0.23, p<0.05$) and T5 ($M=0.64$ vs. $M=1.42$ $SEM=0.23, p<0.05$).

The analysis of older drivers' lateral acceleration yielded a significant Crash by Time Interval interaction [$F(1, 25)=9.84, p<0.01$], with older crashers accelerating less toward the right than non-crashers at T5 ($M=0.17$ vs. $M=0.73, SEM=0.18, p<0.05$) as revealed by simple main effect contrasts. The brake pressure variable also came out significant for the Crash by Time Interval interaction [$F(1, 25)=7.21, p<0.05$] with older crashers braking less than older non-crashers at T5 ($M=17.57.52$ vs. $M=2.52$ $SEM=3.31, p<0.05$).

3.2.3. Overtaking with shoulder

The ANOVA examining older drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal revealed a Crash by Time Interval effect, $F(1, 25)=15.19, p<0.01$. Simple main effect analyses pinpointed that older crashers displayed lower simultaneous use of controls than older non-crashers at T3 ($M=0.82$ vs. $M=1.43$ $SEM=0.21, p<0.05$), T4 ($M=0.73$ vs. $M=1.69$ $SEM=0.20, p<0.05$) and T5 ($M=0.64$ vs. $M=1.42$ $SEM=0.20, p<0.05$).

Accordingly, Crash by Time Interval interaction was deemed significant for older drivers' lateral acceleration [$F(1, 25)=16.05, p<0.05$], with older crashers accelerating less toward the right than non-crashers at T5 ($M=0.31$ vs. $M=1.11, SEM=0.11, p<0.05$) as indicated by simple main effect comparisons. In addition, Crash by Time Interval interactions came out significant for the brake pressure variable [$F(1, 25)=7.43, p<0.05$], with older crashers braking less than older non-crashers at T5 ($M=20.91$ vs. $M=4.82$ $SEM=3.26, p<0.05$) as revealed once again by simple main effect analyses.

3.2.8. *Right incursion*

Analyses of variance of older drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal during *right incursion* revealed a Crash by Time Interval effect, [$F(1, 25)=6.95, p<0.05$] with older crashers using fewer controls simultaneously compared to older non-crashers at T4 ($M=0.63$ vs. $M=1.37$ $SEM=0.20, p<0.05$) and T5 ($M=0.66$ vs. $M=1.39$ $SEM=0.20, p<0.05$).

In addition, ANOVAs revealed a significant Crash by Time Interval interaction for lateral acceleration [$F(1, 25)=7.03, p<0.05$], with older crashers accelerating less toward the left than older non-crashers at T5 ($M=2.27$ vs. $M=0.93, SEM=0.31, p<0.05$). Differences in braking were also significant for Crash by Time Interval interaction [$F(1, 25)=5.93,$

$p<0.05$] with older crashers braking less than older non-crashers at T4 ($M=0.30$ vs. $M=9.30$ $SEM=3.47$, $p<0.05$) and T5 ($M=1.60$ vs. $M=21.43$ $SEM=3.47$, $p<0.05$).

3.2.5. Sudden brake

ANOVAs applied to younger drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal did not lead to any significant differences during the *sudden brake* scenario.

However, the variable longitudinal velocity led to a significant Crash by Time Interval interaction [$F(1, 25)=9.80$, $p<0.01$]. Simple main effects contrasts revealed that younger crashers drove faster than younger non-crashers at T3 ($M=15.26$ vs. $M=12.09$ $SEM=0.39$, $p<0.05$) and T4 ($M=14.70$ vs. $M=10.64$ $SEM=1.28$, $p<0.05$).

3.2.6. Sudden brake with shoulder

Analyses of younger drivers' simultaneous use of the steering wheel and brake pedal during *sudden brake with shoulder* revealed a Crash by Time Interval effect, $F(1, 25)=18.79$, $p<0.01$. Simple analyses revealed that younger crashers used fewer driving controls compared to younger non-crashers at T5 ($M=1.09$ vs. $M=1.73$ $SEM=0.18$, $p<0.05$)

Further analyses of variance of *sudden brake with shoulder* indicated that the interaction Crash by Time Interval for lateral acceleration reached significance [$F(1,25)=5.84$, $p<0.05$]. Contrast analyses indicated that younger crashers accelerated less toward the right than non-crashers at T5 ($M=0.12$ vs. $M=0.67$, $SEM=0.21$, $p<0.05$). The longitudinal velocity variable led to a significant Crash by Time Interval interaction [$F(1, 25)=5.47$, $p<0.05$] and contrasts indicated that the younger crashers drove faster than the younger non-crashers at T1 ($M=16.56$ vs. $M=11.72$ $SEM=1.43$, $p<0.05$) and T2 ($M=16.18$ vs. $M=11.26$ $SEM=1.44$, $p<0.05$).

3.2.9. Left incursion

Analyses of the simultaneous use of the steering wheel and brake pedal during *left incursion* revealed an Age by Time Interval effect, $F(1, 50)=4.75, p<0.05$, with simple main effects contrasts indicating that younger drivers neglected simultaneous activation of controls in comparison to older drivers at T5 ($M=1.08$ vs. $M=1.70$ $SEM=0.20, p<0.05$). Analyses of variance confirmed that there was a significant Age by Time Interval interaction for lateral acceleration [$F(1, 50)=7.45, p<0.01$], with older drivers accelerating less toward the right than older drivers at T5 ($M = 1.92$ vs. $M = 3.30, SEM = 0.31, p < 0.05$). Also, braking was found to be significant for the Age by Time Interval interaction [$F(1, 50)=10.35, p<0.01$], with younger drivers braking less than older drivers at T5 ($M=16.01$ vs. $M=25.47$ $SEM=1.61, p<0.05$).

3.2.4. Shoulder effect

Analyses of variance between the events *overtaking with shoulder* and *overtaking* did not lead to any significant Shoulder effect.

However, analyses of variance between *sudden brake with shoulder* and *sudden brake* events was significant for Age by Shoulder interaction with respect to lateral acceleration [$F(1, 50)= 4.32, p < 0.05$]. Younger drivers were the only group to swerve more when provided with a shoulder at T5 ($M = 0.11$ vs. $M = 0.67, SEM = 0.13, p < 0.05$).

3.1.10. Cognitive measures

Pair-wise comparisons applied the cognitive measures revealed that the *overtaking* older crashers received lower scores on choiceRT [$t(25)=2.51, p<0.05$] than the non-crashers. Their performance on the UFOV2 [$t(25)=2.57, p<0.05$], UFOV3 [$t(52)=3.88, p<0.01$] and TMTB [$t(52)=2.48, p<0.01$] was also significantly lower, as shown in Figures 9-11.

Overtaking with shoulder older crashers were found to be significantly slower than the non-crashers on choiceRT [$t(25)=2.24, p<0.05$], and displayed significantly lower performance on UFOV2 [$t(25)=2.38, p<0.05$] and UFOV3 [$t(52)=2.46, p<0.01$].

Consistent with the above findings, older drivers who crashed in reaction to the *sudden brake event* were significantly slower than the older non-crashers on choiceRT [$t(25)=2.22, p<0.05$], and scored worse on the UFOV2 [$t(25)=42.91, p < 0.01$] and UFOV3 [$t(25)=3.65, p<0.01$] than non-crashers. Similarly, older crashers from *sudden brake with shoulder event* obtained lower scores than the non-crashers on UFOV2 [$t(52)=2.93, p<0.01$] and UFOV3 [$t(25)=3.31, p<0.01$]. Finally, older crashers at the *right incursion* event differed from the non-crashers only on UFOV3 scores [$t(25)=2.39, p<0.05$]. Correlations between older adults' cognitive performance and their crashes were significant for UFOV2 [$r(52)=0.41 p<0.05$], UFOV3 [$r(52)=0.36 p<0.05$] and TMTB [$r(52)=0.38 p<0.05$].

Insert Figure 9-11 about here

As was found with use of the widescreen simulator, analyses of younger participants' cognitive performances did not lead to any significant relationship that differentiated crashers from non-crashers using the portable simulator.

4. Discussion

This study examined age-related differences in accident avoidance behaviors performed during six challenging events shown on two different driving simulators. Consistent with our main hypothesis, we found that older drivers were more likely to crash during events requiring rapid and simultaneous activation of car controls. Moreover, analyses applied to both driving behaviors and cognitive measures indicated that older crashers had difficulty

initiating multiple behaviors simultaneously. However, contrary to our hypothesis, older drivers did not significantly benefit from contextual cues (such as avoiding space or direction of the obstructing car) during the surprising events whereas younger drivers did. Younger drivers showed increased crash risk in events emphasizing braking, finding that is largely explained by their faster driving speed.

4.1. Older drivers

4.1.1. Events characteristics and crash rate

In this experiment, older drivers showed an increased crash rate in reaction to situations requiring the simultaneous execution of multiple maneuvers in a narrow time frame (less than 3 seconds), as shown during the scenarios *overtaking*, *overtaking with shoulder* and *right incursion*. In contrast, when time pressure is elevated but only a single maneuver is required (e.g. in *sudden brake*), or when multiple maneuvers are required and time pressure is moderate (*left incursion*), older drivers were able to react accurately.

Additionally, older drivers' crash rates did not significantly diminish when provided with an avoiding space (*overtaking with shoulder* vs *overtaking*) or when the obstructive car provided its avoiding direction (*overtaking* vs *right incursion*). Also older participants seem to be able to anticipate the appropriate reaction in some events which may have contributed to lower their crash rate. Indeed, in *sudden brake* and *sudden brake with shoulder* events, participants had to follow the obstructive car for 150 m before it stopped and very few older participants crashed. Therefore, our findings indicated that older drivers exhibited an increased crash risk during events characterized by: 1) elevated time pressure, 2) multiple and simultaneous driving maneuvers and 3) unexpectedness (see

also Bélanger et al., in press). When all three elements were present, the risk of crash was elevated even in healthy and experienced older drivers.

4.1.2. Serialization

Examination of driving behaviors during the challenging events revealed a constant trait in older crashers: the lack of simultaneous activation of driving controls (i.e. serialization). According to Hakamies-Blomqvist and colleagues (1999), the serialization approach is a compensatory strategy allowing the driver to modulate his or her attention as a function of the complexity of the road demands. However, it may fail in situations which require simultaneous activation of car controls. In their study, they observed that a subgroup of older drivers compensated for their decline in cognitive processing by using driving controls less simultaneously. They hypothesized that when rapid and simultaneous use of driving controls was a more appropriate response to the driving event, serialization becomes inefficient and consequently increases the driver's crash risk. In our previous study, as well the study described here, we were able to expose older drivers to such complex events. Our findings strongly indicate that older crashers failed to use a synchronized method of driving. Noteworthy, a good proportion of older drivers tested were simultaneous responders and reacted in a safe manner to most of our challenging events.

Based on data gathered by Hakamies et al. (1999), it can be predicted that older crashers to some extent process information differently than the older non-crashers. Older crashers displayed lower performance on measures of visual attention (UFOV), on executive tasks that require attention switching and visuospatial scanning (TMTB), as well as on a reaction time task that contained a decision component (choiceRT). This set of findings

reinforces the well-demonstrated link between time reaction, attention, executive functions, visuospatial processing and older drivers' driving ability (Anstey et al., 2005; Ball et al., 2006; Classen et al., 2008; Clay et al., 2005; Henderson et al., 2007, 2009; Lee et al., 2002; Rizzo et al., 2004).

4.1.3. Individual analyses of driving variables

Performing analyses on individual driving variables provided additional insight about older crashers. Compared to older non-crashers, older crashers showed a reduction in both swerving and braking during the surprising events. These results contrast with past studies suggesting that basic driving abilities (braking and swerving) would be preserved in the older population (Lee et al., 2002, 2003 and 2005). For instance, Lee et al. (2002) examined older drivers' performances in a simulator as well as while driving on road. These authors observed that use of driving controls in the simulator were not age sensitive and were not predictive of driving performance as captured on the road. However, studies like ours scrutinizing older drivers' performance in more complex environments suggest otherwise. Recently, Yan et al. (2007) tested for performance at left turns in busy intersections using a simulator and found that older drivers swerved more slowly compared to younger drivers. These findings and ours suggest that older adults' ability to initiate driving commands may decrease with age, an observation that becomes more salient in a complex environment and even more so in reaction to sudden challenging events.

4.1.4. Compensating for slower processing

The difficulty that older crashers have with initiating complex maneuvers quickly may result from inadequate processing of busy driving situations. Horswill et al. (2004, 2008)

found that hazard perception time decreases with age, affecting people's ability to anticipate potentially dangerous situations and increasing older drivers' crash risk (Bao and Boyle, 2009; Braitman et al., 2007; Richardson and Marottoli, 2003). In line with Horswill's findings, our study showed that older drivers manifested lower crash rates when given either an increased time to react (i.e. *left incursion*) or the possibility to anticipate a harmful event, such as was indicated by their timely reaction to the *sudden brake* and *sudden brake with shoulder* events. Moreover, reduced processing may also explain the inability of older drivers to benefit from contextual cues (such as avoiding space) during the more complex and time-pressured events. Accordingly, roadway design enhancements for older drivers have shown to be effective when explicit directions were provided and time pressure was not elevated (Classen et al., 2007; Shechtman et al., 2007).

4.1.5. Executive functioning deficits

The different explanations provided in regards to older drivers' crashes during the challenging events lean towards the role of executive functioning (Bieliauskas, 2005; Sheridan, 2004). Executive functions are responsible for distributing a person's cognitive resources effectively and for adapting the behaviors according to environmental demands (Verhaeghen et al., 2003; Gliski et al., 2001). Using standardized measures of executive functioning, Daigneault et al. (2002) compared the performance of older drivers with a history of multiple collisions to older drivers with a clean accident record. These authors observed that older drivers involved in collisions manifested mental rigidity (error of perseveration), deficits in planning and reduced problem solving ability. The use of complex and unfamiliar events in the present study enabled us to explore executive

functioning (components and dynamic) while driving ‘in vivo’. In line with a decrease in executive functioning, older crashers exhibited inefficient compensatory strategy (e.g. serialization), reduced ability in sharing attention resources, and lack of proper activation of driving controls. The obtained results are in line with the Sheridan model (2004), which explains the incapacity of some older drivers to modify their usual driving maneuvers and activate an unfamiliar response pattern when facing an unexpected situation.

4.2. Younger drivers

Younger adults exhibited a higher crash rate compared to older adults during *sudden brake*, a situation that only required a breaking response. This vulnerability seems to be attributable primarily to an increased driving speed, as younger crashers drove faster during *sudden brake* compared to non-crashers. These results support the hypothesis that while crashes are related to unintentional mistakes in older drivers, they can be attributed to intentional violations of traffic regulations and increased risk taking in younger drivers (Assailly et al., 2006; Fernandes et al., 2007; Hakamies-Blomqvist, 2003; Laflamme and Vaez, 2007, Rimmö and Parker et al., 2000).

4.4. Simulators characteristics

During this study, a widescreen simulator and a portable simulator were used to assess older and younger drivers. These types of simulators are widely used by researchers (Lee et al., 2002; Weaver et al., 2009) but little is known about their effect on different age groups. Some studies have compared the use of different simulators (Bruyas et al., 2008; Allen et al. 2007) but none using two different populations. One major finding is that contrary to the widescreen simulator, the portable simulator induced no symptoms of

simulator sickness even within the older population known to exhibit such symptoms in the simulator (Classen et al. 2007; Schwebel, et al. 2007; Shechtman et al., 2007).

Therefore, the portable simulator may be preferable for older drivers as it seemingly reduces the SAS symptoms (Lee et al., 2002, 2003, 2005).

The widescreen simulator increased the use of the avoiding space in the younger group during *overtaking with shoulder* and *sudden brake with shoulder*. In a recent study, Allen et al. 2007 trained the driving skills of 554 teenagers using three simulators (laptop, three monitors and widescreen). According to their findings, the widescreen simulator significantly reduced the crash risk of younger drivers on the road. In line with these observations, our findings showed that the shoulder effect was increased in the simulator. Therefore, a widescreen simulator providing a more realistic driving experience may have an accentuated ecological validity for younger drivers.

Generally, driving patterns of younger and older drivers during the surprising events were very similar between the two simulators (see tables 6-9), although the portable simulator induced a higher crash rate difference between age groups, as observed during *sudden brake* and *parked car right*. These results suggest that a portable simulator could be conceived as a valid replacement option to the widescreen simulator at least for examining reactions to complex events that occur in the center of one's field of view. In addition, the fact that the same set of findings were obtained on two different simulator platforms is quite revealing as to the reliability and validity of our study's results and interpretations. Evidently, further studies are required to examine what characteristics of driving simulators affect drivers' performances in interaction with road situations, the population of interest and on-road performance (de Winter et al., 2008).

4.6. Limits

As in most simulator studies, our study lacks on-road application to validate the findings obtained through the simulated driving environment. However, findings similar to ours have been obtained in the context of on road performances (Clay et al., 2005; Horswill et al., 2008; Yan et al., 2007). For instance, the serialization exhibited by older crashers was also observed on the road using an instrumented vehicle (Hakamies-Blomqvist, 1999). Moreover, Clay et al. (2005) found that the UFOV2 was a strong predictor of older drivers' crash risk on the road.

4.7. Recommendations

The difficulties experienced by older and younger drivers when encountering particular challenging events should be targeted in driving assessments and driving training (Kramer et al., 2007), and be considered for the development of warning devices (Cassavaugh and Kramer, 2009) as well as for the enhancement of roadway design (Shechtman et al., 2007). For instance, older drivers who tend to perform in a serialized manner during challenging events could be trained to use the various controls in a more synchronized way in complex situations. Additionally, surprising events are powerful situations that help reveal the driving characteristics of younger and older drivers. It would also be relevant to use our approach to study clinical populations at risk of collision and who may have an impairment in executive functioning, such as Alzheimer's patients (Rizzo et al., 1997, 2001) and traumatic brain injury patients (Cyr et al., 2009).

Acknowledgements

This study was financially supported by an Ontario Neurotrauma Foundation grant to Dr. Sylvain Gagnon. A graduate scholarship was awarded to Alexandre Bélanger (National Sciences and Engineering Research Council of Canada).

References

- Allen, W., Park, G., Cook, M., Fiorentino, D., 2007. The Effect of Driving Simulator Fidelity on Training Effectiveness Proceedings of the Driving Simulation Conference North America Iowa City, USA
- Anstey, K., Windsor, T., Luszcz, M., Andrews, G., 2006. Predicting driving cessation over 5 years in older adults: Psychological wellbeing and cognitive competence are stronger predictors than physical health. *Journal of the American Geriatrics Society* 54, 121– 126.
- Anstey, K.J., Wood, J., Lord, S.R., Walker, J., 2005. Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review* 25, 45-65.
- Ball, K., Roenker, D., Bruni, J., 1990. Developmental changes in attention and visual search throughout adulthood. In Enns, J. (Ed.), *The development of attention: Research and theory*. North Holland: Elsevier Science Publishers, 489-508.
- Ball, K., Roenker, D., Wadley, V., Edwards, J., Roth, D., McGwin, G., Raleigh, R., Joyce, J., Cissell, G., Dube, T., 2006. Can high-risk older drivers be identified through performance-based measures in a Department of Motor Vehicles setting? *Journal of the American Geriatrics Society* 54, 77-84.

- Bao, S., Boyle, L.N., 2009. Age-related differences in visual scanning at median-divided highway intersections in rural areas. *Accident Analyses and Prevention* 41, 146-152.
- Bedard, M., Weaver, B., Darzins, P., Porter, M., 2008. Predicting driving performance in older adults: We are not there yet! *Traffic Injury Prevention* 9, 336-341
- Bekiaris, E., Amditis, A., Panou, M., 2003. DRIVABILITY: A new concept for modelling driving performance. *Cognition, Technology & Work* 5, 152-161
- Bieliauskas, L.A., 2005. Neuropsychological assessment of geriatric driving competence. *Brain Injury* 19, 293-301.
- Bohensky, M., Charlton, J., Odell, M., Keefe, J., 2008. Implications of vision testing for older driver licensing. *Traffic Injury Prevention* 9, 304-313.
- Boufous, S., Finch, C., Hayen, A., Williamson, A., 2008. The impact of environmental, vehicle and driver characteristics on injury severity in older drivers hospitalized as a result of a traffic crash. *Journal of Safety Research*, 39, 65-72.
- Braekhus, A., Laake, K., Engedal, K., 1995. A low, 'normal' score on the Mini-Mental State Examination predicts development of dementia after three years. *Journal of the American Geriatric Society* 43, 656-661.
- Braitman, K.A., Kirley, B.B., McCartt, A.T., Chaudhary, N.K., 2008. Crashes of novice teenage drivers: characteristics and contributing factors. *Journal of Safety Research* 39, 47-54.
- Bruyas, M.P., Brusque, C., Tattegrain, H., Auriault, A., Aillerie, I., Duraz, M., 2008. Consistency and sensitivity of lane change test (LCT) according to driving simulator characteristics *Intelligent Transport Systems* 4, 306-314

- Cantin, V., Lavallière, M., Simoneau, M., Teasdale, N., 2009. Mental workload when driving in a simulator: effects of age and driving complexity. *Accident Analyses and Prevention* 41, 763-771.
- Cassavaugh, N.D., Kramer, A.F., 2009. Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics* 40, 943-952.
- Chaparro, A., Wood, J.M., Carberry, T.P., 2005. Effects of age and auditory and visual-dual tasks on driving. *Optometry and Vision Science* 82, 747-754.
- Classen, S., Horgas, A., Awadzi, K., Messinger-Rapport, B., Shechtman, O., Joo, Y., 2008. Clinical predictors of older driver performance on a standardized road test. *Traffic Injury Prevention* 9, 456-462.
- Classen, S., Shechtman, O., Stephens, B., Davis, E., Justiss, M., Bendixen, R., Belchior, P., Sandhu, M., Posse, C., McCarthy, D., Mann, W., 2006. The impact of roadway intersection design on driving performance of young and senior adults: Preliminary results. *Topics in Geriatric Rehabilitation* 22, 18-26.
- Clay, O.J., Wadley, V.G., Edwards, J.D., Roth, D.L., Roenker, D.L., Ball, K.K., 2005. Cumulative meta-analysis of the relationship between useful field of view and driving performance in older adults: Current and future implications. *Optometry and Vision Science* 82, 724-731.
- Cyr, A., Yamin, S., Bélanger, A., Hing, M., Marshall, S., Gagnon, S., 2006. Effect of old age on dual task performance during driving simulations of varying complexities. *Advances in Transportation Studies: An International Journal* 9, 31-46.
- Cyr, A.A., Stinchcombe, A., Gagnon, S., Marshall, S., Man-Son Hing, M., & Finestone, H., 2009. Driving difficulties of brain injured drivers in reaction to high crash risk

simulated road events: A question of impaired divided attention, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 31, 472-482

Daigneault, G., Joly, P., Frigon, J.-Y. 2002. Executive functions in the evaluation of accident risk of older drivers. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 24, 221-238.

David W.E., Molnar, L., J., 2009. Older Adult Safety and Mobility: Issues and Research Needs *Public Works Management Policy* 13, 288 - 300.

de Winter, J.C., de Groot, S., Mulder, M., Wieringa, P., Dankelman, J. Mulder, J.A., 2009. Relationships between driving simulator performance and driving test results. *Ergonomics* 52, 137-153.

Dobbs and Bonnie (2008). Aging baby boomers a blessing or challenge for driver licensing authorities. *Traffic Injury Prevention* 9, 379-386.

Eberhard J. 2008. Older drivers' high per-mile crash involvement: The implications for licensing authorities. *Traffic Injury Prevention* 9, 284-290.

Fernandes, R., Job, R., Hatfield, J.A., 2007. Challenge to the assumed generalizability of prediction and countermeasure for risky driving: Different factors predict different risky driving behaviors. *Journal of Safety Research* 38, 59–70.

Fildes, B., 2008. Future directions for older driver research. *Traffic Injury Prevention* 9, 387-393.

Fildes, B., Charlton, J., Muir, C., Kopple, S., 2007. Driving responses of older and younger drivers in a driving simulator. *Annual Proceedings Association for the Advancement for Automotive Medicine* 51, 559-572.

- Glisky, E.L., 1998. Differential contribution of frontal and medial temporal lobes to memory: Evidence from focal lesions and normal aging. In N. Raz (Ed.), *The other side of the error term: Aging and development as model systems in cognitive neuroscience* (pp. 261-317). Amsterdam: Elsevier.
- Hakamies-Blomqvist, L., Mynttinen, S., Backman, M., Mikkonen, V., 1999. Age-related differences in driving: Are older drivers more serial? *International Journal of Behavioral Development* 23, 575-589.
- Hancock, P.A., de Ridder, S. 2003. Behavioral response in accident-likely situations. *Ergonomics* 46, 1111-1135.
- Henderson, S., Gagnon, S., Bélanger, A., Tabone, R., Collin, C., 2007. Near peripheral motion detection threshold predicts detection failure accident risk in younger and older drivers. *Proceeding of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design.*, Stevenson, Washington, USA.
- Henderson, S., Gagnon, S., Collin, C., Tabone, R., Stinchcombe, A., 2009. Near peripheral motion contrast threshold predicts older drivers' driving simulator performance, *Proceedings of the 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and vehicle Design*, Stevenson, Washington, USA.
- Horberry, T., Anderson, J., Regan, M., Triggs, T., Brown, J., 2006. Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accident Analysis and Prevention* 38, 185-191.

- Horswill, M.S., Marrington, S.A., McCullough, C.M., Wood, J., Pachana, N.A., McWilliam, J., Raikos M.K., 2008. The hazard perception ability of older drivers. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences* 63, 212–218.
- Horswill, M.S., McKenna, F.P., 2004. Drivers' hazard perception ability: situation awareness on the road. In: Banbury, S., Tremblay, S. (Eds.), *A Cognitive Approach to Situation Awareness: Theory and Application*. Ashgate Publishing, Aldershot, Hampshire, pp. 155–175.
- Hu, P., Jones, D., Reuser, T., Schmoyer, R., Truett, L., 2000. Projecting fatalities in crashes involving older drivers, 2000-2025. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee
- Kamenhoff, I., 2008). Assessing elderly people to drive - practical considerations *Australian Family Physician* 37, 689-784
- Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S., Lilienthal, M.G., 1993. A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology* 3, 203-220.
- Kramer, A.F., Cassavaugh, N., Horrey, W.J., Becic, E., Mayhugh, J., 2007. Influence of age and proximity warning devices on collision avoidance in simulated driving. *Human Factors* 49, 935-949.
- Laflamme, L., Vaez, M., 2007. Car crash and injury among young drivers: contribution of social, circumstantial and car attributes. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion* 14, 5-10.

- Langford, J., 2008. Usefulness of off-road screening tests to licensing authorities when assessing older driver fitness to drive. *Traffic Injury Prevention* 9, 328-335.
- Langford, J., Koppel, S., Andrea, D., Fildes, B., 2006. Determining older driver crash responsibility from police and insurance data. *Traffic Injury Prevention* 7, 343-351.
- Lee, H. C., Lee, A. H., Cameron, D., Li-Tsang, C., 2003. Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *Journal of Safety Research*, 34, 453-459.
- Lee, H.C., Drake, V., Cameron, D., 2002. Identification of appropriate assessment criteria to measure older adults' driving performance in simulated driving. *Australian Occupational Therapy Journal* 49, 150-157.
- Lee, H.C., Lee, A.H., 2005. Identifying older drivers at risk of traffic violations by using a driving simulator: A 3-year longitudinal study. *The American Journal of Occupational Therapy* 59, 97-100.
- Leproust, S., Lagarde, E., Salmi, L.R., 2008. Risks and Advantages of Detecting Individuals Unfit to Drive: A Markov Decision Analysis. *Journal of general internal medicine: journal of the Society for Research and Education in Primary Care Internal Medicine*. 23, 1796-1803
- Lyman, S., Ferguson, S.A., Braver, E.R., Williams, A.F., 2002. Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes. *Trends and Projections. Injury Prevention* 8, 116–120.
- Mayhew, D.R., Simpson, H.M., Ferguson, S.A., 2006. Collisions involving senior drivers: High-risk conditions and locations. *Traffic Injury Prevention* 7, 117-124.

- Merat, N., Anttila, V., Luoma, J., 2005. Comparing the driving performance of average and older drivers: The effect of surrogate in-vehicle information systems. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 8, 147-166.
- Mezuk, B, Rebok, G.W., 2008. Social integration and social support among older adults following driving cessation. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences* 63, S298-S303.
- Molnar, F. J., Patel, A., Marshall, S. C., Man-Son-Hing, M., Wilson, K.G., 2006. Clinical utility of office-based predictors of fitness to drive in persons with dementia: a systematic review. *Journal of the American Geriatrics Society* 54, 1809-1824.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2001. Ageing and transport: Mobility needs and safety issues. Report published by an OECD Scientific Expert Group, Paris, France.
- Oxley, J., Whelan, M., 2008. It cannot be all about safety: The benefits of prolonged mobility. *Traffic Injury Prevention* 9, 367-378.
- Parker, D., McDonald, L., Rabbitt, P., Sutcliffe, P., 2000. Elderly drivers and their accidents: the Aging Driver Questionnaire. *Accident Analysis and Prevention* 32, 751-759.
- Prokosch, M.D., Yeo, R.A., Miller, G.F., 2004. Intelligence tests with higher g- loadings show higher correlations with body symmetry: evidence for a general fitness factor mediated by developmental stability. *Intelligence* 33, 203-213.
- Ragland, D.R., Satariano, W.A., MacLeod, K.E., 2005. Driving cessation and increased depressive symptoms. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 60, 399-403.

- Reitan, R., 1958. Validity of the Trail Making test as an indicator of brain damage. *Perceptual and Motor Skills* 8, 271-276.
- Richardson, E.D., Marottoli, R.A., 2003. Visual attention and driving behaviors among community-living older persons. *Journals of Gerontology A Biological Sciences* 58, M832-M836.
- Rimmö, P.-A., Hakamies-Blomqvist, L., 2002. Older drivers' aberrant driving behaviour, impaired activity, and health as reasons for self-imposed driving limitations. *Transportation Research Part F* 5, 47-62.
- Rizzo, M., McGehee, D.V., Dawson, J.D., Anderson, S.N., 2001. Simulated car crashes at intersections in drivers with Alzheimer disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorders* 15, 10-20.
- Rizzo, M., Reinach, S., McGehee, D., Dawson, J., 1997. Simulated car crashes and crash predictors in drivers with Alzheimer's disease. *Archives of neurology* 54, 545-551.
- Rizzo, M., Stierman, L., Skaar, N., Dawson, J.D., Anderson, S.W., Vecera, S.P., 2004. Effects of a controlled auditory-verbal distraction task on older driver vehicle control. *National Academy of Sciences: Transportation Research Record* 1865, 1-6.
- Robertson, R., Vanlaar, W., 2008. Elderly drivers: Future challenges? *Accident analysis and prevention* 40, 1982-1986.
- Schaap, T.W., van der Horst, A.R.A., van Arem, B., 2008. Influence of unexpected events on driving behaviour at different hierarchical levels: a driving simulator experiment, *Proceedings: European Conference on Human Design for Intelligent Transport Systems*, 3-4 Lyon, France.

- Schwebel, D.C., Severson, J., Ball, K.K., Rizzo, M., 2006. Individual difference factors in risky driving: The roles of anger/hostility, conscientiousness, and sensation-seeking. *Accident Analysis and Prevention* 38, 801–810.
- Shechtman, O., Classen, S., Stephens, B., Bendixen, R., Belchoir, P., Sandhu, M., McCarthy, D., Mann, W., Davis, E., 2007. The impact of intersection design on simulated driving performance of young and senior adults. *Traffic Injury Prevention* 8, 78-86.
- Sheridan, T.B., 2004. Driver distraction from a control theory perspective. *Human Factors* 46, 587-599.
- Shipley, W.C., 1946. Institute of living scale. Los Angeles: Western Psychological Services.
- Skyving, M., Berg, H-Y, Laflamme, L., 2009. A pattern of traffic crashes fatal to older drivers. *Accident Analysis & Prevention* 41, 253-258.
- Spren, O., Strauss, E., 1998. A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary (2nd ed.). New York: Oxford University Press.
- Staplin, L., Lyles, R.W., 1991. Age differences in motion perception and specific traffic maneuver problems. *Transportation Research Record* 1325, 23-33. Transportation Research Board, Washington, DC.
- Transport Canada, 2007. Canadian Motor Vehicle Traffic Statistics: 2006. Transport Canada, Ottawa, Canada.
- Verhaeghen, P., Steitz, D.W., Sliwinski, M.J., Cerella, J., 2003. Aging and dual-task performance: a meta-analysis. *Psychology and Aging* 18, 443-460.

- Weaver, B., Bédard, M., McAuliffe, J. Parkkari, M., 2009. Using the Attention Network Test to predict driving test scores. *Accident Analysis and Prevention* 41, 76-83.
- Wheatley, C., Di Stefano, D.M., 2008. Individualized assessment of driving fitness for older individuals with health, disability, and age-related concerns. *Traffic Injury Prevention* 9, 320-327.
- Wheatley, C., Stefano, D.M., 2008. Individualized assessment of driving fitness for older individuals with health, disability, and age-related concerns. *Traffic Injury Prevention* 9, 320-327.
- Wood, J., Anstey, K.J., Kerr, G.K., Lacherez, P.P., Lord, S.R. 2008. A Multidomain Approach for Predicting Older Driver Safety Under In-Traffic Conditions. *Journal of American Geriatrics Society* 56, 986-993.
- Yan, X., Harb, R., Radwan, E., 2008. Analyses of Factors of Crash Avoidance Maneuvers Using the General Estimates System. *Traffic Injury Prevention*, 9, 173-180.
- Yan, X., Radwan, E., Guo, D., 2007. Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance. *Accident Analysis and Prevention*, 39(4), 843-852.

Table 1. Characteristics of the challenging events from Bélanger et al., in press.

Events from Bélanger et al. (in press)	Maneuvers required	Time to react (ms)	Main findings
Car overtaking	Swerve toward the right sidewalk	2950	Higher crash rate for older drivers
Parked car right	Brake or swerve toward the left in the opposite lane	6190	Older braked more whereas younger swerved more
Pedestrians crossing	Brake	3260	Younger braked faster

Table 2. Demographic characteristics of the participants using the widescreen simulator

Group	N	Age (years)		Gender		Years licensed	Km/Year
		Mean	SD	Male	Female	Mean	Mean
21-36	35	28.9	3.96	17	18	10.23 ± 9.88	13710.86 ± 2634.47
65-83	35	72.1	4.34	20	15	47.12 ± 6.84	13077.14 ± 2771.18
SAS Young	3	29.7	7.18	0	3	11.16 ± 11.03	13829.76 ± 3811.97
SAS Old	11	75.2	6.23	4	7	50.85 ± 7.95	13220.70 ± 3211.97

Table 3. Demographic characteristics of the participants using the portable simulator

Group	N	Age (years)		Gender		Years licensed	Km/Year
		Mean	SD	Male	Female	Mean	Mean
21-38	27	28.6	6.63	14	13	10.36 ± 13.29	13395.56 ± 3394.99
65-83	27	72.7	5.39	17	10	47.21 ± 9.89	13444.44 ± 3370.28
SAS	0						

Table 4. Characteristics of the challenging events.

Challenging event	Maneuver required	Avoiding space	Avoiding cues	Mean length of time before crash (ms)
Overtaking	Steer towards the right sidewalk	No	No	2888 ± 421
Sudden brake	Brake and/or steer right	No	No	2864 ± 466
Overtaking with shoulder	Steer towards the right avoiding lane	Yes	No	2813 ± 497
Sudden brake with shoulder	Brake or steer towards the right avoiding lane	Yes	No	2862 ± 489
Right incursion	Steer toward left in the opposite lane and/or brake	Yes	Yes	2840 ± 474
Left incursion	Steer right toward the avoiding lane and/or brake	Yes	Yes	3274 ± 556

Table 5. Standard deviations of steering wheel angle and brake pressure at T0s for each surprising event.

Challenging event	Steering wheel (SD)	Brake pressure (SD)
Overtaking	2.75	7.08
Sudden brake	1.97	8.77
Overtaking with shoulder	2.89	6.98
Sudden brake with shoulder	2.03	8.64
Right incursion	2.72	8.22
Left incursion	2.46	7.18

Table 6. Results of analyses of variance comparing older crashers and non-crashers.

Challenging event	Simultaneous use of commands			Brake			Steering			Speed		
	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$
Overtaking	11.87**	8.26**	4.88*	7.21*	19.68**	9.84**	1.71	1.38				
Overtaking with shoulder	13.23**	15.19*	8.41**	7.43*	19.22**	16.05*	1.09	1.31				
Right incursion	9.88**	6.95**	12.19**	5.93*	1.74	7.03*	1.56	2.03				

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

Table 7. Results of analyses of variance comparing younger crashers and non-crashers.

Challenging event	Simultaneous use of commands			Brake			Steering			Speed		
	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$	Widescreen simulator $F(1, 33)$	Portable simulator $F(1, 25)$
Sudden brake	3.56	1.21	2.71	3.09	3.71	2.15	15.89**	9.80**				
Sudden brake with shoulder	16.67**	18.79**	2.41	2.78	13.27**	5.84*	16.54**	5.47*				

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

Table 8. Results of analyses of variance comparing younger and older participants during *left incursion* event.

Challengin g event	Simultaneous use of commands			Brake			Steering			Speed		
	Widescreen simulator F(1, 66)	Portable simulator F(1, 50)	Widescreen simulator F(1, 66)	Portable simulator F(1, 50)	Widescreen simulator F(1, 66)	Portable simulator F(1, 50)	Widescreen simulator F(1, 66)	Portable simulator F(1, 50)	Widescreen simulator F(1, 66)	Portable simulator F(1, 50)	Widescreen simulator F(1, 66)	Portable simulator F(1, 50)
<i>Left incursion</i>	9.92**	4.75*	7.07*	10.35* *	6.12*	7.45**	6.12*	7.45**	0.63	0.75	0.63	0.75

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

Table 9. Analyses of variance results for shoulder effect.

Shoulder effect	Steering			
	Widescreen simulator $F(1, 66)$		Portable simulator $F(1, 50)$	
	Age effect	Crash effect	Crash effect	Age effect
<i>Overtaking with shoulder vs. overtaking</i>	11.02* *	1.52	1.63	1.46
<i>Sudden brake with shoulder vs. sudden brake</i>	11.76* *	2.34	3.12	4.32*

Figure Caption

Figure 1. Schematic representation of the event overtaking with shoulder. The participant (P) approaches a bus (B) and an occluded car (C) swiftly moves into the driver's lane in an attempt to pass the bus.

Figure 2. Widescreen simulator configuration.

Figure 3. Portable simulator configuration.

Figure 4. Crash rate using the widescreen simulator with respect to crash occurrence and age group.

Figure 5. UFOV scores using the widescreen simulator with respect to crash occurrence and age group.

Figure 6. Trail Making Tests scores using the widescreen simulator with respect to crash occurrence and age group.

Figure 7. Reaction time scores using the widescreen simulator with respect to crash occurrence and age group.

Figure 8. Crash rate using the portable simulator with respect to crash occurrence and age group.

Figure 9. UFOV scores using the portable simulator with respect to crash occurrence and age group.

Figure 10. Trail Making Tests scores using the portable simulator with respect to crash occurrence and age group.

Figure 11. Reaction time scores using the portable simulator with respect to crash occurrence and age group.

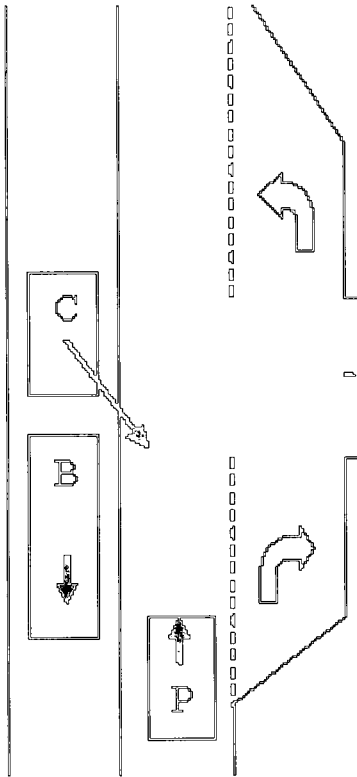


Figure 1.

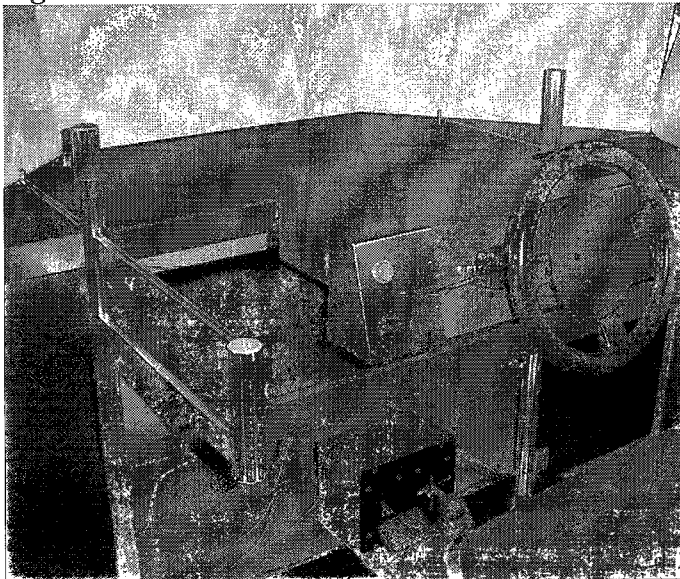


Figure 2.

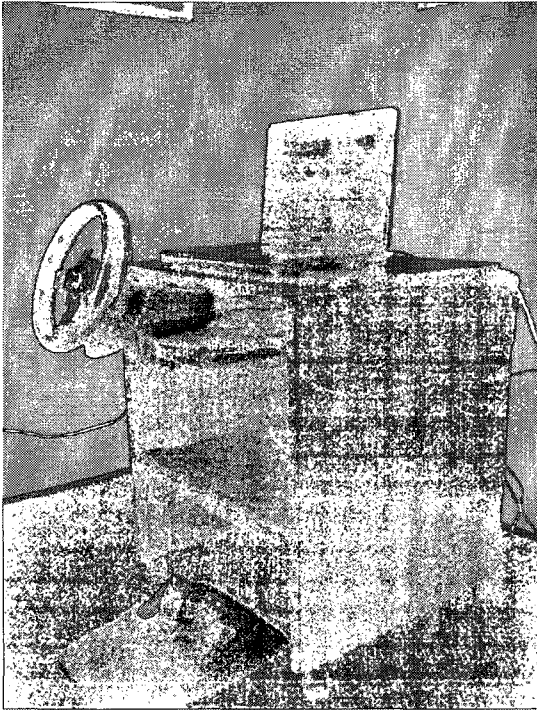


Figure 3.

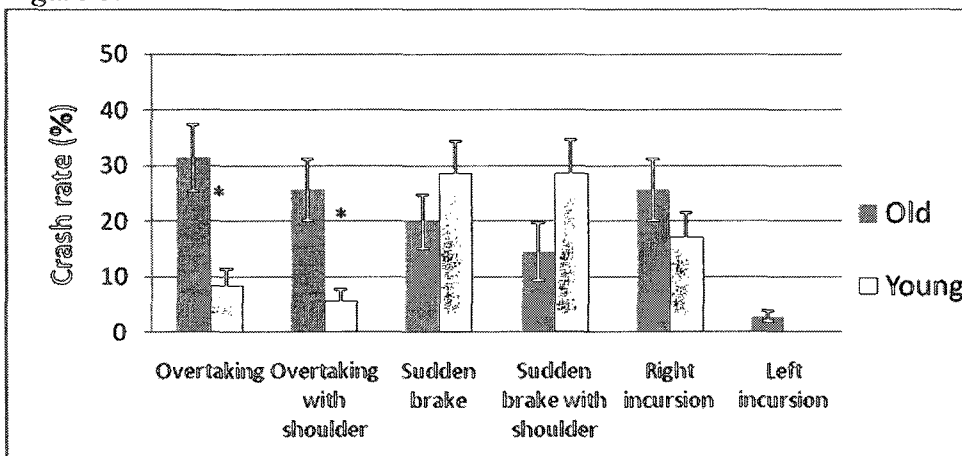


Figure 4.

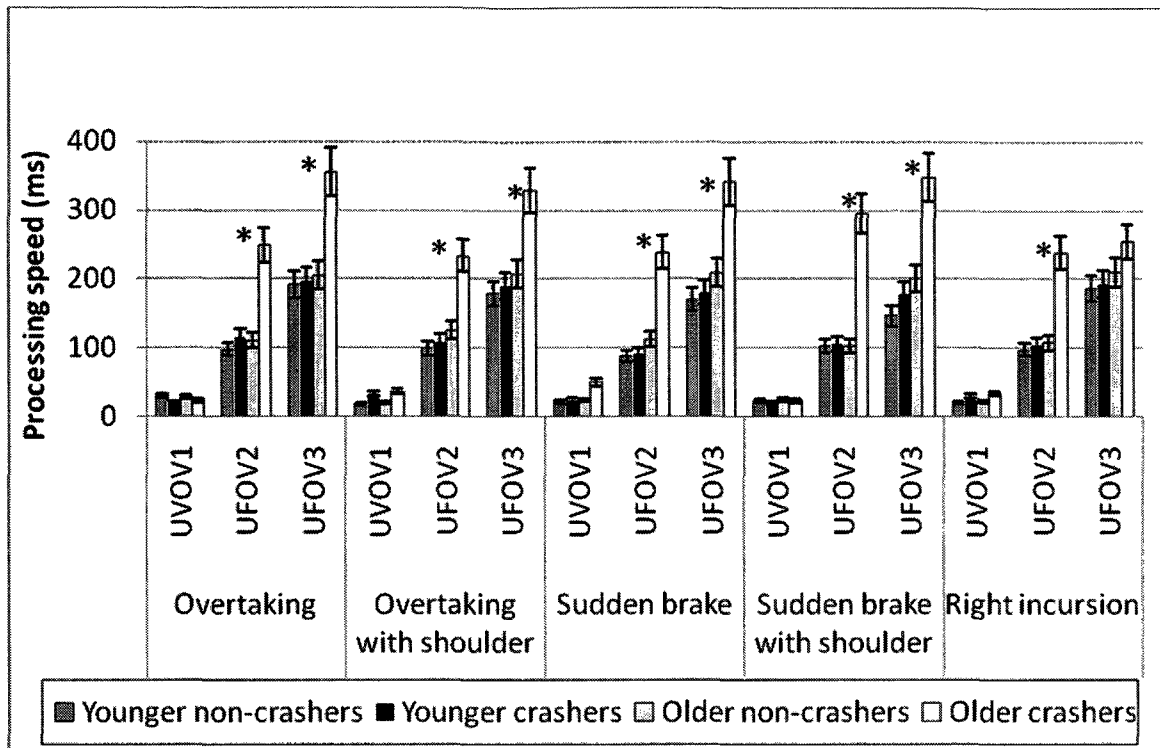


Figure 5.

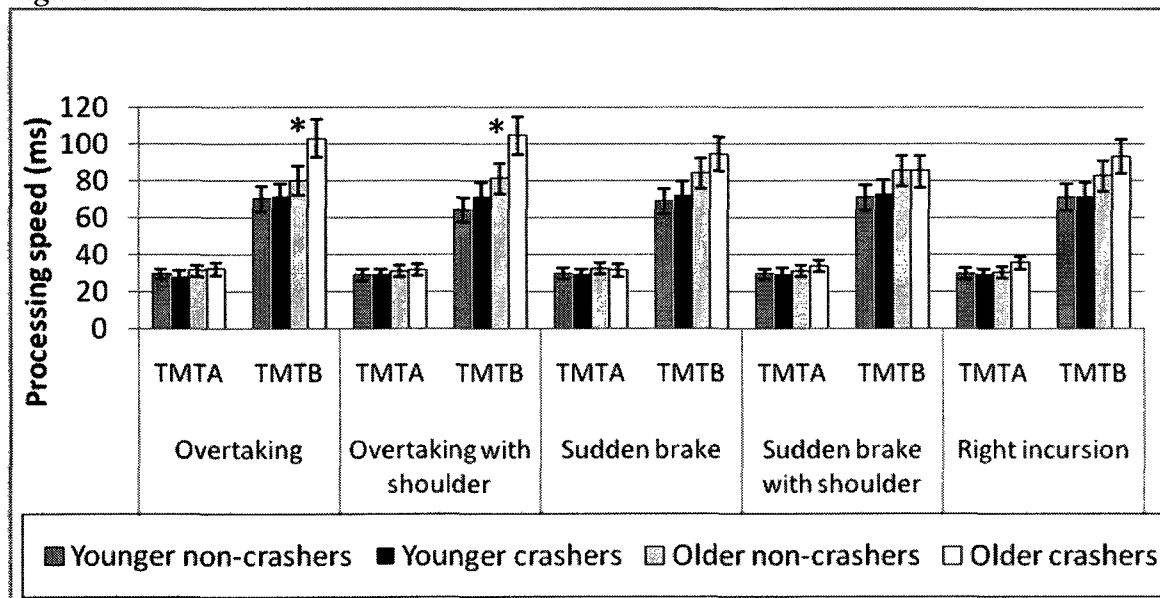


Figure 6.

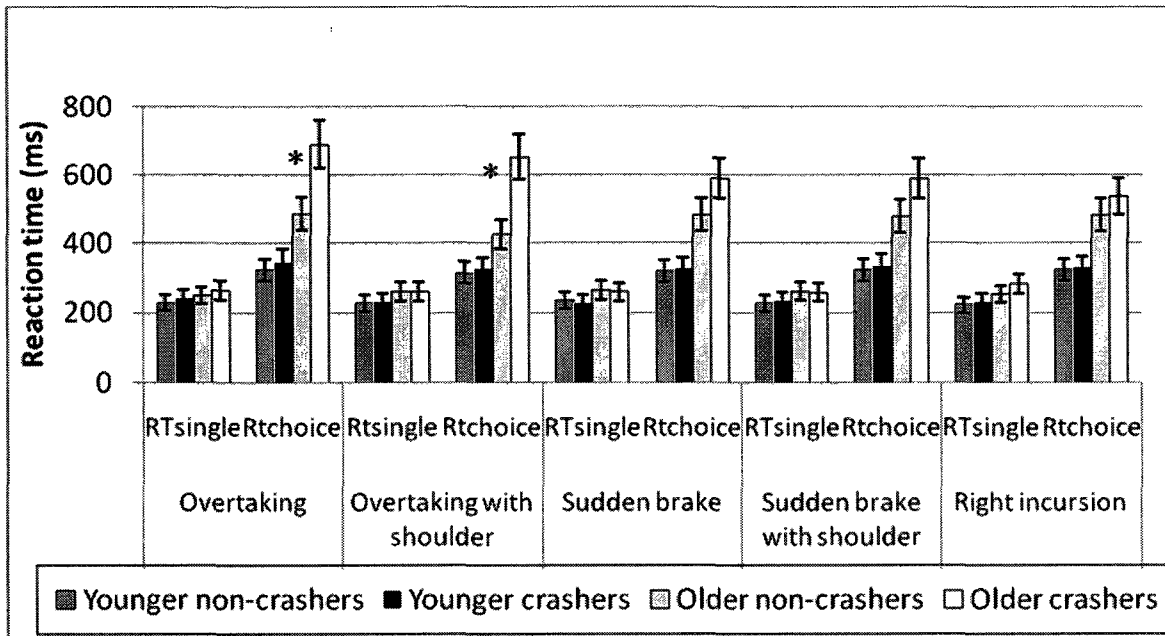


Figure 7.

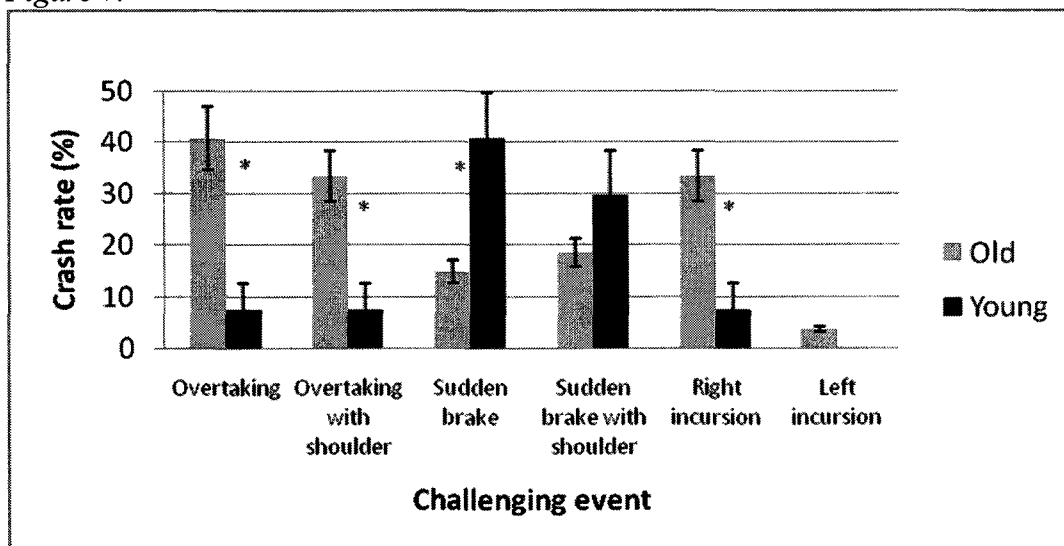


Figure 8.

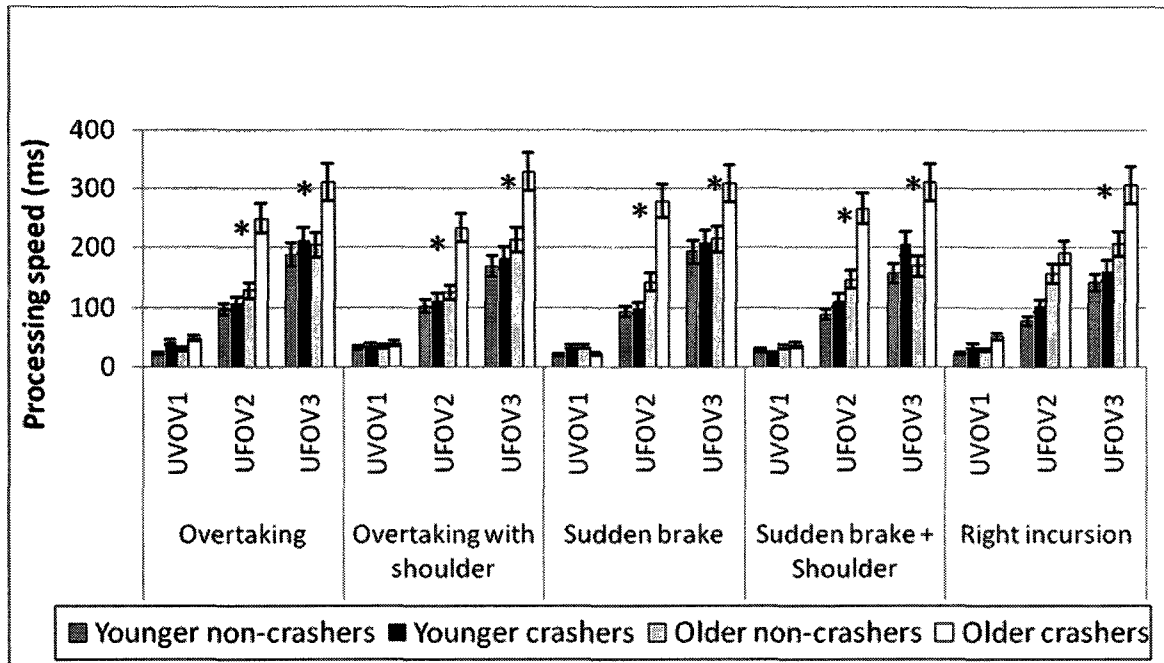


Figure 9.

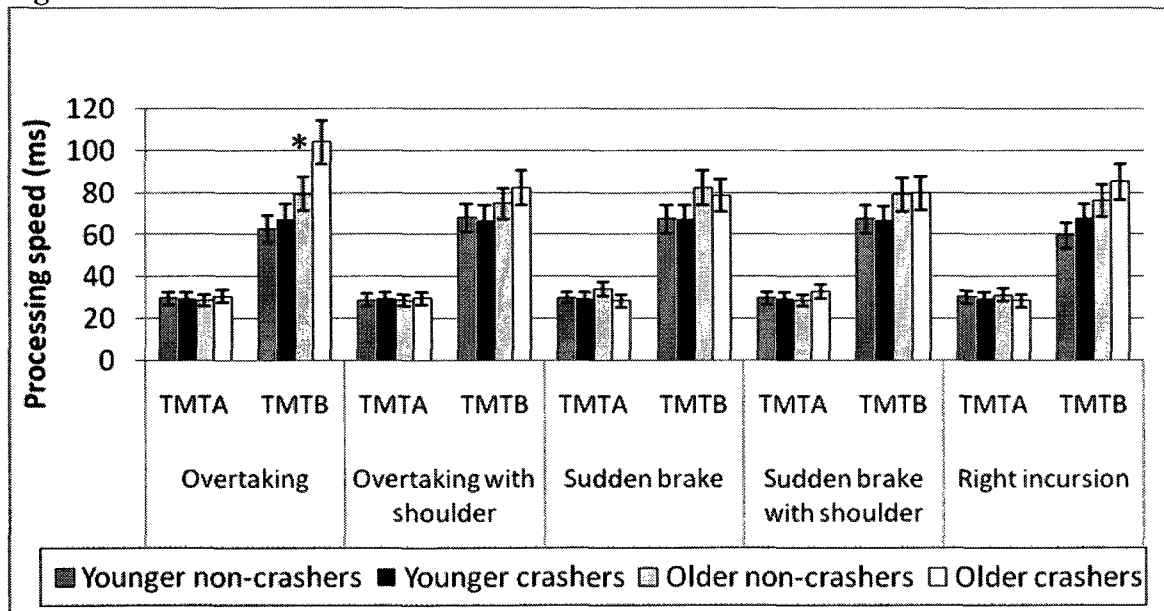


Figure 10.

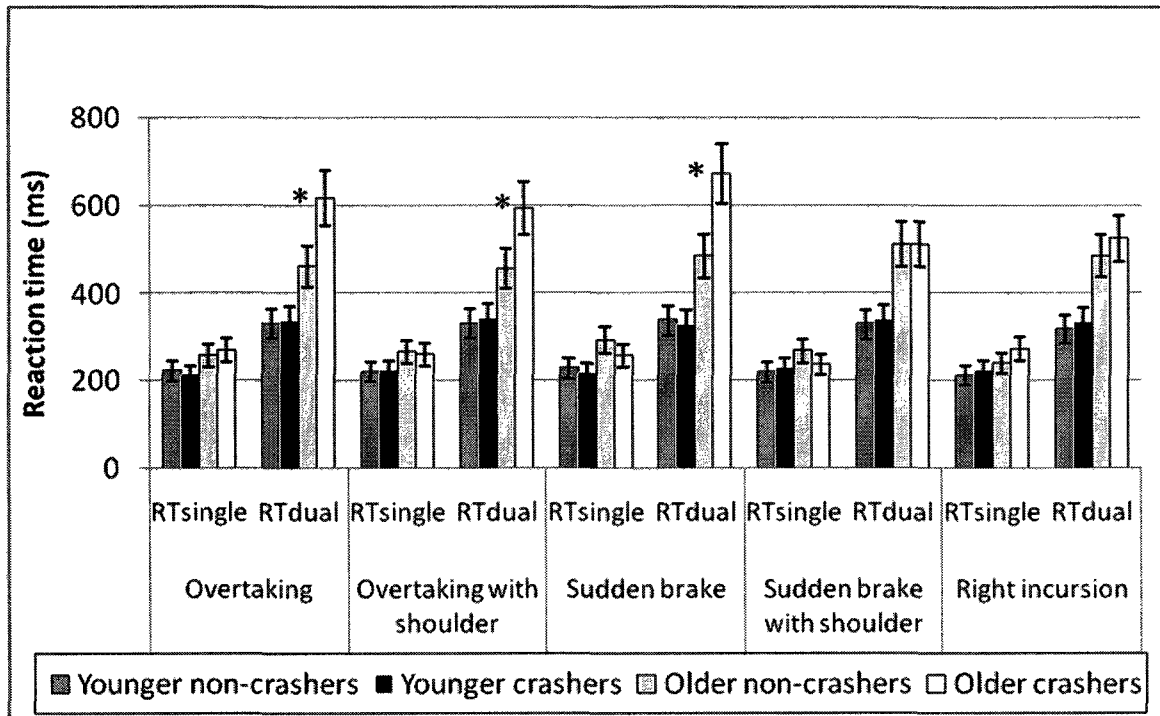


Figure 11.

4. DISCUSSION GÉNÉRALE

4.1. Retour sur les Objectifs Principaux de la Thèse

L'objectif général de la présente thèse consistait à préciser la nature des difficultés des conducteurs âgés face à des situations présentant un risque élevé de collision. Nous avons opté pour un cadre interprétatif reposant sur les modèles prédominants du vieillissement cognitif qui font état du déclin des fonctions exécutives (West, 2000; Hasher et al., 2001) et du ralentissement de la vitesse d'exécution (Salthouse, 2000). En début de parcours, nous avons émis l'hypothèse stipulant que des différences liées à l'âge des conducteurs seraient observées et que certains conducteurs âgés seraient incapables de générer rapidement plusieurs comportements inhabituels. Ces derniers pourraient déployer des comportements compensatoires (conduite automobile plus séquentielle et plus lente) visant à fournir des réponses 'adaptives' à la réduction de leurs ressources cognitives liées au vieillissement (Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Toutefois, ces stratégies compensatoires auraient pour effet d'engendrer des collisions lors de situations nécessitant l'exécution rapide de plusieurs manœuvres.

Cette hypothèse a été examinée par l'entremise de deux expériences au cours desquelles les comportements liés à la conduite automobile des personnes âgées, face à des situations à risque de collision, a été comparée à ceux de conducteurs plus jeunes.

Méthodologie

Le simulateur de conduite automobile a été préconisé afin de confronter les participants à des situations potentiellement dangereuses sans porter préjudice à leur santé ou causer des dommages matériels (voir aussi Hancock & Ridder, 2003; Rizzo et al., 2001). Les participants ont été soumis à un ensemble d'événements surprenants dans le

simulateur afin d'examiner la nature de leurs réactions comportementales, et par le fait même, préciser le rôle de certains processus. Pour ce faire nous avons manipulé la morphologie des événements de manière à évaluer les facteurs suivants; 1) le temps de réaction, 2) l'importance des indices environnementaux, 3) le nombre et la familiarité des manœuvres à exécuter (basé sur Bieliauskas, 2005; Horberry et al., 2006; Rizzo et al., 1997), 4) de même que leur caractère simultané (Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Dans la première expérience, l'analyse des performances sur simulateur incluait des mesures de charge mentale objective (tâche de détection visuelle secondaire dans le simulateur; Lee et al., 2002) et subjective (NASA-TLX; Horberry et al., 2006). Par ailleurs, nous avons développé une nouvelle méthode d'analyse des données recueillies par le simulateur qui nous a permis d'examiner avec précision les réactions des conducteurs jeunes et âgés (une méthode inspirée de Rizzo et al., 1997, 2001 et de Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Finalement, dans les deux expériences, la performance dans le simulateur a été associée à certaines mesures cognitives reconnues pour être liées à la compétence des conducteurs âgés (Anstey et al., 2005). Il est à noter que la tâche secondaire n'a pas été incluse lors de la deuxième expérience afin d'évaluer la performance des participants dans un contexte offrant le moins d'interférence possible.

4.3. Principaux Résultats

4.3.1. *Évaluation Objective de la Charge Mentale*

Les résultats obtenus à l'aide de la tâche secondaire indiquent que la charge mentale augmente selon la complexité des manœuvres à exécuter. En effet, tant les jeunes conducteurs que les conducteurs âgés présentent un temps de réponse accru et un niveau

de précision diminué lorsqu'appelés à manœuvrer le simulateur dans un environnement complexe (exécuter un virage), comparativement à un environnement plus simple (conduire en ligne droite). La performance des participants à la tâche secondaire est encore plus affectée lorsqu'ils doivent réagir à un évènement surprenant. De plus, nous avons observé que les performances à la tâche secondaire sont moindres chez les conducteurs âgés et ce, indépendamment de la complexité de l'environnement (simple, complexe ou évènement surprenant). Toutefois, une analyse morcelée des évènements surprenants révèle des performances moindres à la tâche secondaire pour les personnes âgées durant l'évènement *dépassement imprudent*.

4.3.2. *Évaluation Subjective de la Charge Mentale*

L'évaluation subjective de la charge mentale s'est avérée également fort révélatrice. D'une part, les conducteurs jeunes et âgés ayant été impliqué dans une collision rapportent une charge mentale plus élevée et ont avoué s'être senti moins performant. D'autre part, les conducteurs âgés ont fait état d'une charge mentale supérieure en réaction aux évènements surprenants (pour des résultats récents et comparables voir Cantin, Lavallière, Simoneau, & Teasdale, 2009; Makishita & Matsunaga, 2008).

4.3.3. *Taux de Collision*

La majorité des conducteurs, jeunes ou âgés, sont en mesure d'éviter avec succès les évènements surprenants auxquels ils ont été confrontés dans les deux expériences. Toutefois, l'analyse des taux de collision lors des évènements surprenants révèle tout de même des différences significatives entre les conducteurs jeunes et âgés. En effet, les personnes âgées ont présenté un risque accru de collision lorsque la pression temporelle

était élevée et que plusieurs manœuvres étaient requises. En combinant les deux expériences, ces différences ont été observées pour les événements *dépassement imprudent*, *dépassement imprudent avec voie d'évitement* et *voiture stationnée intrusive par la droite* en version accélérée (Expérience 2). En comparaison, les conducteurs, qu'ils soient jeunes ou âgés présentent un taux de collision comparable lorsque la pression temporelle est réduite ou qu'une seule manœuvre est nécessaire, soit pour les événements suivants *piétons imprudents*, *voiture stationnée intrusive par la droite*, *voiture stationnée intrusive par la gauche* et *arrêt soudain avec voie d'évitement*. Toutefois, lors de l'évènement *arrêt soudain*, où la pression temporelle était élevée mais ne requérait qu'un freinage brusque, ce sont les jeunes conducteurs qui ont présenté un taux de collision plus élevé (Expérience 2).

4.3.4. Comportement des Conducteurs en Fonction de l'Âge

Dans un premier temps, l'analyse des intervalles temporels précédant les événements surprenants (T0) ne révèle aucun accident et indique clairement que les réactions au volant des conducteurs jeunes ou âgés sont, en général, très comparables. En effet, dans un contexte de conduite simplifié, les deux groupes de conducteurs manifestent une conduite automobile sécuritaire. De manière fort contrastée, l'analyse des réactions aux événements surprenant montre de manière claire que les conducteurs âgés réagissent différemment des conducteurs plus jeunes. Nos résultats font état d'une tendance quasi généralisée des personnes âgées à utiliser davantage la pédale de frein en tant que réaction prioritaire comparativement aux jeunes adultes. En contrepartie, ces derniers préfèrent utiliser le volant lorsqu'il y a possibilité d'éviter un obstacle, pour ainsi le contourner. À titre d'exemple, aux événements *voiture stationnée à droite* (Expérience

1)) les personnes âgées ont réagi en freinant tandis que les jeunes adultes ont plutôt tenté de contourner la voiture faisant obstacle. D'ailleurs, seuls les jeunes conducteurs ont fait utilisation de la voie de débordement durant l'évènement *dépassement imprudent avec voie de débordement*. D'autre part, lorsque la situation requiert uniquement un freinage rapide (*piétons imprudents*), les conducteurs âgés sont plus lents à réagir. Toutefois, cette différence liée à l'âge n'est pas observée lorsque le freinage peut être anticipé (événements *freinage brusque* ou *freinage brusque avec voie d'évitement* de la seconde expérience). Finalement, rappelons qu'aux événements surprenants nécessitant la mise en action de deux commandes de manière simultanée (*dépassement imprudent*, *dépassement imprudent avec voie d'évitement* et *voiture stationnée intrusive par la droite* en version accélérée), plusieurs conducteurs âgés ont tenté d'éviter la collision seulement par une décélération soudaine

4.3.5. Les Réactions et Comportements Menant à une Collision

L'exploration des comportements dans le simulateur a permis de mettre en lumière les réactions précédant ou lors de l'évènement surprenant qui permettent de dissocier les deux groupes d'âge. Un des résultats majeurs de cette série d'expériences a trait aux réactions des conducteurs âgés impliqués dans une collision. Ces derniers semblent incapables d'exécuter plus d'une réaction de façon simultanée, une observation commune à tous les événements qui présentaient un risque accru de collision (*dépassement imprudent*, *dépassement imprudent avec voie d'évitement* et *incursion par la droite accélérée*). De plus, durant la situation *dépassement imprudent* (Expérience 1), le groupe de conducteurs âgés ayant percuté un autre véhicule conduisait plus lentement dans la fenêtre temporelle qui précédait l'arrivée de l'évènement surprenant (T0). Ainsi,

les stratégies compensatoires (séquentialisation et conduite plus lente) manifestées par certains conducteurs âgés deviennent inefficaces lorsque les situations requièrent plusieurs manœuvres simultanées devant être déclenchées rapidement. D'autre part, les conducteurs âgés impliqués dans une collision durant le *dépassement imprudent* (Expérience 1) sont également plus lents à réagir durant l'événement *piétons imprudents*. Ces constats suggèrent que la vitesse d'exécution pourrait également affecter la capacité de réaction des conducteurs âgés dans les situations dites inattendues.

En comparaison, les collisions des conducteurs plus jeunes sont essentiellement reliées à une vitesse plus élevée. Conséquemment, il semble que les collisions observées chez les jeunes conducteurs soient attribuables à leur témérité et à leur manque d'expérience (Fernandes, Job, & Hatfield, 2007).

4.3.6. Mesures Cognitives

L'examen des performances aux mesures cognitives fait état d'associations modérées avec les collisions des conducteurs âgés. En effet, les conducteurs âgés impliqués dans une collision diffèrent, de manière significative, des autres conducteurs âgés aux mesures UFOV 2 et 3, à l'épreuve Trail Making Test B et à la tâche secondaire de détection visuelle (Expérience 1). En contrepartie, des mesures plus élémentaires comme la vitesse de réaction simple et le Trail Making Test A ne sont pas associées aux collisions. En somme, ces résultats tendent à confirmer le rôle de l'attention sélective et divisée de même que la capacité de déplacer son attention et alterner d'une réponse à une autre. Nous traiterons plus à fond des mécanismes sous-jacents un peu plus loin dans la discussion.

4.4. Interprétations des Difficultés des Conducteurs Âgés en Réaction aux Évènements Surprenants

L'analyse des taux de collision, du comportement dans le simulateur et des mesures cognitives mettent en évidence deux principaux vecteurs du vieillissement cognitif, soit le ralentissement cognitif (Salthouse, 1989; Salthouse et al., 2003) et l'intégrité des fonctions exécutives (Fernandez-Duque et al., 2000; Hasher et al., 2001).

4.4.1. *Vitesse d'Exécution*

Le ralentissement cognitif lié au vieillissement (Salthouse, 1989; Salthouse et al., 2003) explique une part non négligeable des difficultés observées chez certains conducteurs âgés et possiblement l'attitude générale au volant des conducteurs âgés. Selon cette hypothèse, le vieillissement aurait pour effet de réduire l'efficacité globale du fonctionnement cérébral, ce qui aurait pour conséquence de ralentir la réalisation de chacune des opérations mentales (Cappeliez, Landreville & Vézina, 2000). Ainsi, lorsque la réalisation de tâches plus complexes nécessitant de multiples opérations mentales est requise, le ralentissement lié au vieillissement amplifierait les différences reliées à l'âge (Salthouse, 2005). Lors de situations avec pression temporelle élevée, le ralentissement cognitif pourrait même engendrer l'omission ou l'incapacité de déclencher certains comportements dans un court délai (Salthouse, 1996).

Certains résultats de la présente série d'études viennent appuyer l'hypothèse du ralentissement cognitif. En accord avec la très large littérature sur le sujet (Anstey et al., 2005; Cantin et al., 2009; Lee et al., 2002, 2005; Wood et al., 2008) nous avons observé que les conducteurs âgés répondaient plus lentement aux tests de temps de réaction simple et au choix, de même qu'à la tâche de détection visuelle secondaire réalisée

parallèlement à la tâche maîtresse de simulation (Expérience 1). En ce qui concerne les réactions aux événements surprenants, nous avons d'abord observé que les événements surprenants ayant engendré des collisions chez les personnes âgées doivent nécessairement comporter une pression temporelle élevée. Toujours en accord avec l'interprétation relative ralentissement cognitif, les conducteurs âgés impliqués dans une collision lors de *dépassement imprudent* (Expérience 1) ont réagi significativement plus lentement à un autre événement surprenant (*piétons imprudents*) sans pour autant présenter un risque plus élevé de collision au dit événement. Finalement, les conducteurs âgés impliqués dans des accidents présentent un temps de traitement plus ralenti aux tests UFOV 2 et 3 en plus d'exécuter plus lentement des tâches cognitives complexes (Trail Making B). En conséquence, le ralentissement cognitif lié au vieillissement affecterait le comportement de certains conducteurs âgés, ce qui aurait pour conséquence de les rendre plus à risque d'être impliqué dans un accident de la route (McKnight & McKnight, 1999).

Toutefois, l'hypothèse du ralentissement cognitif ne peut expliquer à elle seule l'ensemble des résultats obtenus. D'une part, les collisions des conducteurs âgés font montre d'une réaction nettement plus séquentielle, ce qui suggère que les fonctions exécutives pourraient être essentielles à l'exécution de réponses de manière simultanée (voir prochaine section; Hakamies-Blomqvist et al., 1999). D'autre part, le ralentissement cognitif ne semble pas affecter les conducteurs âgés lors de certains événements et ce, même si la pression temporelle est élevée (*arrêt soudain, arrêt soudain avec voie d'évitement*). Rappelons également que les mesures de temps de réaction simple ne sont pas associées à la manifestation de collisions. Ainsi, il appert que d'autres mécanismes

cognitifs aient une influence marquée sur la capacité des personnes âgées à répondre aux évènements surprenants (Anstey, 2005).

4.4.2. *Intégrité des Fonctions Exécutives*

Tel que nous venons d'y faire allusion, des fonctions exécutives moins efficaces pourraient avoir une influence notable sur les réactions au volant des conducteurs âgés lorsqu'ils font face à évènements complexes et inattendus. D'après plusieurs auteurs, les fonctions exécutives seraient responsables de la préparation et de l'exécution de comportements tout spécialement dans des contextes complexes et peu familiers (Burgess, 2000; Fisk & Sharp, 2004; Godefroy, 2003; Kane & Engle, 2002; Sheridan, 2004) : plus la complexité augmente et/ou plus la familiarité diminue, plus essentielle devient l'implication des fonctions exécutives. De plus, les fonctions exécutives sollicitées par une activité donnée seraient particulières aux éléments constitutifs de cette activité (Burgess, 1997; Rabbit 1997). Tel que nous en avons fait mention en introduction, les habiletés liées aux fonctions exécutives (p.ex. inhibition) diffèrent selon le contexte dans lequel elles sont sollicitées (Stroop versus commutation de tâche; Smith et al., 2006). Ainsi, les habiletés liées aux fonctions exécutives seraient sollicitées lors de tâches complexes et peu familière mais seraient également indissociables de l'activité visée. À cet effet, les évènements surprenants représentent des tâches complexes et peu familières dans un contexte particulier, celui de la conduite automobile (Bieliauskas, 2005).

4.4.2.1. *Séquentialisation*

L'analyse des collisions dans lesquelles les conducteurs âgés ont été impliqués montre que l'adoption d'un comportement compensatoire (séquentialisation) s'avère

inadéquat pour franchir certains événements surprenants. La séquentialisation vise à diminuer la charge cognitive attribuable à des situations complexes de manière à mieux harmoniser les demandes environnementales avec la réduction des ressources cognitives tributaires du vieillissement (Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Certaines personnes âgées manifestent cette conduite séquentielle même lorsque la situation requiert plusieurs manœuvres de façon simultanée et rapide. Ainsi, ces conducteurs âgés ne semblent pas en mesure de se désengager de la stratégie compensatoire (séquentialisation) afin d'initier un comportement plus adapté (initiation de multiples manœuvres), un déficit pouvant être associée à des fonctions exécutives suboptimales (Fernandez-Duque et al., 2000).

L'association entre la capacité d'accomplir simultanément des comportements multiples et le risque de collision chez les conducteurs âgés se reflète également dans les résultats aux mesures cognitives. En effet, les conducteurs âgés impliqués dans une collision présentent des performances moindres à des mesures d'attention divisée (UFOV 2 et UFOV 3), de déplacement de l'attention et d'alternance rapide (attention switching; Trail Making B). Ces résultats nous ramènent aux propriétés des fonctions exécutives (gestion attentionnelle) et leur importance dans le contexte de la conduite automobile (Cyr et al. 2008).

Plusieurs études utilisant des mesures standardisées supportent, de manière indirecte, les résultats obtenus. En effet, Verhaeghen et al., (1998; 2002; 2003) observent que la performance des personnes âgées à des paradigmes nécessitant des réponses à deux tâches concomitantes est étroitement associée aux mesures des fonctions exécutives. Par ailleurs, Glisky et al., (2001) observent que seules les personnes âgées qui présentent des fonctions exécutives moindres ont plus de difficultés à résoudre des problèmes dépourvus

de consigne spécifique (Davidson et al. 2002). Selon Hasher et ses collaborateurs (2001), la réduction de l'efficacité des fonctions exécutives des personnes âgées s'expliquerait principalement par une diminution de la capacité à bloquer l'information non pertinente. Considérant que le vieillissement cognitif réduit les ressources cognitives (Fastenau et al., 1996; Salthouse et al., 1989), cette difficulté chez certaines personnes âgées à inhiber l'information non pertinente pourrait entraîner une surcharge des capacités cognitives. De plus, cette surcharge de l'information serait encore plus importante lors de l'accomplissement de tâches complexes et multiples, où une quantité plus importante d'informations doit être inhibée (Hasher et al., 2001). Les résultats obtenus lors de cette thèse supportent cette dernière proposition. En effet, les conducteurs âgés ont présenté un risque accru de collision durant les événements surprenants plus complexes qui requièrent de multiples manœuvres (p.ex. *dépassement imprudent* ou *voiture stationnée à droite accélérée*). De plus, les résultats obtenus aux mesures cognitives abondent dans le même sens, alors que seules les tâches requérant le traitement de sources d'informations présentées en simultané ont permis de dissocier les conducteurs âgés ayant subi une collision des autres conducteurs âgés.

Certaines études relatives à la conduite automobile appuient l'importance des fonctions exécutives afin d'expliquer la capacité diminuée de conducteurs âgés à faire face aux situations routières plus complexes (Beliauskas, 2005; Reger et al., 2004). Daigneault et ses collaborateurs (2002) ont comparé l'intégrité des fonctions exécutives d'un sous-groupe de conducteurs âgés ayant trois accidents ou plus à leur dossier face à des conducteurs âgés affichant un dossier vierge. Ces chercheurs observent que les conducteurs impliqués dans des accidents présentent un déclin de certaines fonctions

exécutives, notamment certaines difficultés de planification et de résolution de problèmes, un trait reconnu du vieillissement cognitif. En accord avec notre interprétation, plusieurs auteurs proposent que les fonctions exécutives opérant à un niveau optimal permettraient aux automobilistes âgés de s'adapter à des situations routières non familières et complexes (Horberry et al., 2006; Merat et al., 2005).

En somme, les résultats décrits dans cette thèse supportent l'importance de l'intégrité des fonctions exécutives des conducteurs âgés, afin d'éviter avec succès les risques inhérents à des situations complexes et peu familières.

4.5. Arrimage des Observations avec Deux Modèles de Conduite Automobile

Deux modèles de la conduite automobile ont été présentés dans l'introduction de cette thèse. Michon (1985) propose un modèle de la conduite automobile hiérarchique dont les trois niveaux (supervision, tactique et opérationnel) se différencient par la nature des comportements à accomplir et le délai de réponse (Figure 2). D'après Sheridan (2004), cinq composantes (intention, activation, sensoriel, véhicule et décision), en constante interaction, permettraient aux conducteurs de produire des manœuvres adaptées en fonction des exigences de la route (Figure 3). Dans la prochaine section de cette thèse, les deux modèles sont examinés à la lumière des résultats décrits préalablement.

4.5.1. *Modèle de Michon*

Le niveau supérieur du modèle de Michon se nomme stratégique et nécessite une analyse du traitement de l'information de longue durée (par exemple, le choix de l'itinéraire le plus approprié et les décisions relative à l'horaire du parcours le plus à propos). Ce niveau n'a pas été examiné lors de la présente thèse puisque tous les participants étaient soumis au même parcours dans le simulateur. D'ailleurs, Raedt et

Ponjaert-Kristoffersen (2000) soutiennent que le niveau stratégique n'est pas associé, de manière générale, aux difficultés des conducteurs âgés en bonne santé. Pour nombre d'auteurs, c'est plutôt le niveau tactique qui expliquerait une part importante des difficultés rencontrées par les conducteurs âgés (De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000; Lee et al., 2002). Ce niveau requiert la supervision et l'adaptation constantes des comportements au volant en fonction du contexte et des événements routiers (p.ex., harmonisation de la vitesse). Les résultats que nous avons obtenus supportent l'importance du niveau tactique afin d'expliquer les performances des conducteurs âgés. La tâche secondaire du simulateur qui est représentative du niveau tactique (Lee et al., 2002) est associée aux collisions des conducteurs âgés survenus aux événements surprenants. Ainsi, les processus cognitifs du niveau tactique qui nécessitent un effort accru du traitement de l'information seraient à l'origine des difficultés des conducteurs âgés (voir aussi Lee et al., 2002; 2005). Par ailleurs, certaines stratégies compensatoires (conduite plus lente et séquentialisation), qui sont aussi de l'ordre du niveau tactique, ne permettent pas aux conducteurs âgés d'éviter les collisions (cependant, voir De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000). L'adoption d'une stratégie séquentielle semble contribuer au risque de collision lors de certaines situations complexes exigeant l'activation simultanée de plusieurs commandes. Ainsi, certaines stratégies compensatoires liées au niveau tactique pourraient nuire à la conduite automobile des personnes âgées dans des situations spécifiques (Hakamies-Blomqvist et al., 1999). Ces habiletés tactiques des conducteurs âgés sont adaptées à la conduite dans un contexte routier connu et peu complexe mais seraient insuffisantes pour faire face à des situations nouvelles dans lesquelles les réactions des agents externes sont difficiles à prévoir.

Le troisième niveau du modèle de Michon, nommé opérationnel, comprend les comportements plus automatisés comme la manipulation du volant, de la pédale de frein et de l'accélérateur. Une analyse approfondie de l'utilisation des commandes du simulateur a permis d'identifier des différences selon l'âge, différences qui ont une forme plus accentuée chez les individus ayant commis une collision (contrairement à Lee et al., 2002). Une première différence révèle une utilisation exagérée de la pédale de frein par les conducteurs âgés contrairement aux plus jeunes conducteurs qui utilisent plutôt le volant afin de contourner les obstacles. Par ailleurs, les personnes âgées impliquées dans une collision lors de l'évènement *dépassement imprudent* de l'Expérience 1 ont été plus lent à freiner dans l'évènement *piéton imprudent* de la même expérience. En résumé, les difficultés du niveau opérationnel s'expliquent par un usage exclusif de la pédale de frein et par un déclenchement ralenti de cette réponse.

En accord avec Withaar et al. (2000), les différents niveaux du modèle de Michon interagissent de façon très complexe selon les caractéristiques de l'environnement et du conducteur. En conséquence, il demeure difficile de dissocier les difficultés provenant du niveau opérationnel de celles dont la nature est davantage tactique. Ainsi, la classification proposée par Michon ne permet pas d'identifier avec précision les causes des collisions des conducteurs âgés lors des événements surprenants (Bekiaris, Amditis & Panou, 2003). Néanmoins, le modèle de Michon met à l'avant-plan le caractère clairement multifactoriel de la conduite automobile.

4.5.2. *Modèle de Sheridan*

Le modèle de Sheridan (2004) semble d'expliquer avec plus d'exactitude les résultats de la présente thèse. Cette constatation repose principalement sur la constance des observations entre la première et la seconde expérience. Rappelons dans un premier temps que la composante intentionnelle (I) est demeurée constante puisque les participants avaient pour instructions de compléter le parcours en respectant le code de la route. Quant à la composante sensorielle (S), tous les participants étaient soumis au même environnement visuel et sonore. Par ailleurs, les participants semblaient jouir d'un substrat biologique et neurologique (A) optimal puisqu'ils ont tous rapportés être en excellente santé et ont été sélectionnés en considérant le fait qu'ils n'avaient aucun problème médical (actuel ou passé) important (voir questionnaire Appendice A) ou de déclin cognitif majeur. En ce qui concerne la composante voiture (V), certaines variations sont notables. À cet égard domine le fait que la majorité des participants ont été testés sur le simulateur immersif (n=110) comparativement à un nombre moindre de participants (n=54) sur la version portable. Notons toutefois que les participants ont manifesté des réactions similaires indépendamment du contexte de simulation, un résultat qui renforce très nettement la fidélité et la validité des résultats. En outre, il importe de souligner que les patrons comportementaux et les différences relatives au groupe d'âge, de même que la présence de collisions étaient grandement similaires d'un contexte de simulation à l'autre.

En accord avec Sheridan (2004), les difficultés observées chez les conducteurs âgés en réaction aux événements surprenants seraient attribuables à la composante décisionnelle (D). Cette composante permet l'arrimage des intentions du conducteur en fonction des exigences de l'environnement afin d'initier les manœuvres adaptées. Sheridan explique que les personnes âgées sont habituellement plus expérimentées et disposent

d'un grand nombre de patrons comportementaux. Cette caractéristique leur permettrait de répondre adéquatement aux demandes familières de la conduite automobile en se basant sur leur expérience passée. En ce sens, nous avons observé que les conducteurs âgés ne présentaient pas de difficulté particulière durant les périodes plus simples (T0). Toujours selon Sheridan, les difficultés des conducteurs âgés seraient plus patentes en situation inhabituelle lorsque la composante décisionnelle doit activer un patron comportemental inhabituel (voir aussi Norman & Shallice, 1986). Lorsque confrontées à des situations inhabituelles, contrairement aux situations routinières, les conducteurs âgés ne peuvent initier machinalement un des patrons comportementaux (sur)appris. De fait, nous avons fait la démonstration que les événements surprenants représentent une plateforme idéale pour confronter les conducteurs âgés à des situations inhabituelles qui nécessitent l'initiation de comportements peu familiers et complexes (p.ex. freiner et rouler sur l'accotement lors de l'évènement *dépassement imprudent*). En accord avec l'hypothèse de Sheridan (2004), nous avons observé, chez une proportion importante de conducteurs âgés, une difficulté à déployer des patrons comportementaux qui requièrent des manœuvres multiples initiées en un court laps de temps (voir aussi Belleville et al., 2006; West, 1996).

L'arrimage plus naturel avec le modèle de Sheridan comparativement au modèle de Michon peut s'expliquer de trois manières. D'une part, le modèle de Sheridan cible uniquement les comportements des conducteurs âgés. Ces conducteurs présentent des traits particuliers qui peuvent être difficilement expliqués dans un modèle incluant l'ensemble des conducteurs. En ce sens, nos résultats témoignent d'une nette différenciation entre le patron comportemental des conducteurs jeunes et âgés impliqués

dans une collision. De plus, la perspective de Shéridan repose sur un modèle théorique des fonctions exécutives élaboré par Norman & Shallice, 1986 (voir également Fernandez-Duque et al., 2000). Cette particularité permet l'inclusion de certaines facettes du vieillissement cognitif (p.ex. difficultés à s'adapter à un environnement non familier) qui ont été préalablement observées chez les personnes âgées dans d'autres contextes. Par ailleurs, le modèle de Shéridan présente un plus grand nombre de composantes dont les interactions sont étayées avec plus de précision. Considérant la nature multifactorielle de la conduite automobile, l'inclusion d'un plus grand nombre de composantes permet de mieux préciser les corrélats entre les processus sous-jacents aux habiletés des conducteurs âgés (Anstey et al., 2005; Bekiaris et al., 2003).

4.6. Validité des Résultats Obtenus

Plusieurs aspects méthodologiques de la présente thèse assurent la validité des résultats obtenus. Premièrement, les expériences présentent des échantillons de taille imposante (Expérience 1 $n=40$) voire même nettement supérieure (Expérience 2 $n = 120$) à ce qui est généralement utilisé dans ce type d'études (Cantin et al., 2009 $n = 20$; Fildes, Charlton, Muir, & Kopple, 2007 $n = 45$; Horberry et al., 2006; $n = 31$; Lee et al., 2003 $n = 53$; Lee & Lee, 2005 $n = 129$; Makishita & Matsunaga, 2008 $n = 30$; Merat et al., 2005 $n = 24$; Rizzo, 1997 $n = 39$; Rizzo et al., 2001 $n = 30$; Shechtman, Classen, Stephens, Bendixen, Belchoir, Sandhu, McCarthy, Mann, & Davis, 2007 $n = 39$; Weaver et al., 2009 $n = 42$; Yan et al., 2007 $n = 63$;). Deuxièmement, certains résultats obtenus lors de la première expérience ont été corroborés avec succès lors de la seconde expérience. À cet effet, les personnes âgées des deux expériences présentent un risque accru de collision lors de l'évènement *dépassement imprudent*. Troisièmement, certains résultats sont au

diapason au sein de la même expérience. Cela est appuyé par le fait que les conducteurs âgés ayant de la difficulté à initier les manœuvres appropriées durant l'évènement *dépassement imprudent* présentent également une lenteur dans leur réaction lors de l'évènement *piétons imprudents*. De plus, les analyses de corrélation ont fait la démonstration qu'il y avait une corrélation entre les risques de collision aux évènements de nature comparable. Quatrièmement, des résultats semblables ont été obtenus à l'aide de deux plateformes de simulation dans la seconde expérience. Toutes ces observations combinées suggèrent fortement que les différences observées entre jeunes et âgés sont davantage attribuables au vieillissement qu'aux instruments utilisés. Cinquièmement, l'utilisation du simulateur *portable* a permis d'examiner tous les participants recrutés, puisqu'aucun n'a souffert de symptômes du SAS. Ainsi, les résultats obtenus ne peuvent être attribuables à l'exclusion d'un sous-groupe de participants. Toutefois, rappelons que les participants ayant souffert du SAS lorsqu'évalués à partir du simulateur plus immersif et qui n'ont malheureusement pas complété la séance de test ne différaient pas de ceux qui ont complété la séance d'évaluation sur l'ensemble des variables démographiques et cognitives.

En contrepartie, les expériences décrites et réalisées dans la présente thèse comportent certaines limites qui méritent d'être signalées. D'une part, les résultats obtenus à l'aide de simulateurs de conduite automobile ne peuvent être directement généralisés aux performances sur route. Toutefois, les résultats obtenus sont cohérents avec ceux obtenus sur route (Clay et al., 2005; Horswill, Marrington, McCullough, Wood, Pachana, McWilliam, & Raikos, 2008; Summala and Mikkola, 1994; Yan et al., 2008). À cet égard, un appui indirect provient des observations d'Hakamies-Blomqvist

(1999). Ces chercheurs ont observé une tendance à la séquentialisation des commandes d'une automobile chez certains conducteurs âgés lors des situations plus complexes d'un parcours sur route (par exemple virage à gauche). Par ailleurs, nos observations sont également supportées par le fait que certains des test cognitifs que nous avons utilisés corrélaient significativement avec les risques de collision des conducteurs âgés documentés en contexte routier réel (Anstey et al., 2005). Une autre limite à la validité de cette thèse est la sélection d'un échantillon dit de convenance lors des deux expériences. Ce choix ne permet pas la généralisation des résultats à l'ensemble des conducteurs âgés. En effet, les participants ont été recrutés à l'aide d'annonces publiées dans un journal local et à la suite d'une sollicitation via courriel des fonctionnaires retraités de la fonction publique fédérale résidant dans la région d'Ottawa. Ces individus ont choisi de participer aux études de leur plein gré. Ainsi, on peut supposer que les personnes âgées qui présentent de plus faibles habiletés liées à la conduite automobile ont évité de participer à l'étude craignant l'échec et la diminution de leur sentiment de compétence. De plus, les critères de sélection ont exclu des personnes âgées qui possèdent un permis de conduire mais dont le portrait médical et neurologique pourrait interférer avec leur performance. Ainsi, les personnes âgées recrutées sont vraisemblablement en meilleure santé que les membres de cette cohorte d'âge. Conséquemment, il est probable que les différences attribuables à l'âge que nous avons observées soient en réalité sous-estimées. À cet égard, notons que le pourcentage des collisions chez les conducteurs âgés s'est avéré plus faible dans la seconde que dans la première expérience. Dans cette dernière, la quasi-totalité des participants étaient membre de l'association des retraités de la fonction publique. Finalement, la présente thèse aurait sans aucun doute bénéficiée d'une approche

multidisciplinaire afin de mieux circonscrire les difficultés des conducteurs âgés. En effet, selon plusieurs modèles, la conduite automobile devrait être perçue comme un amalgame de composantes en constante interaction (Anstey et al. 2005; Bekiaris et al., 2005; Dobbs, 2005; Withaar et al., 2000). Une étude réalisée avec 300 personnes âgées suggère que certains symptômes de santé physique (douleurs à la colonne vertébrale et au bas du corps) seraient liés aux difficultés des conducteurs âgés (Tuokko, Rhodes, & Dean, 2007). Il appert qu'une compréhension plus subtile des conducteurs âgés nécessite une analyse à large spectre, analyse qui ne se limiterait pas à la seule sphère cognitive.

4.7. Implications

Certaines interventions pourraient vraisemblablement découler des résultats obtenus. En effet, les deux expériences ont permis de faire ressortir l'importance de la séquentialisation des comportements chez le conducteur âgé afin d'expliquer les difficultés qu'ils ont rencontrées. La première suggestion consisterait à examiner la tendance à séquentialiser les diverses réactions chez un conducteur âgé donné. De plus, la capacité à effectuer une multitude de manœuvres rapidement pourrait être entraînée chez les personnes âgées, ce qui pourrait améliorer leur capacité à répondre adéquatement aux situations plus complexes. En ce sens, une étude récente de Cassavaugh et Kramer (2009) démontrent qu'un entraînement à une tâche d'attention divisée améliore la performance des conducteurs en contexte de simulation (voir aussi Roenker et al., 2003). Nous avons également examiné l'effet de certains indices environnementaux (voie d'évitement, direction d'évitement). Les conducteurs plus jeunes ont fait la démonstration d'une impressionnante capacité à utiliser ces indices. A contrario, les conducteurs âgés semblent imperméables à ces indices, à l'exception de l'évènement *voiture stationnée à*

gauche dans lequel l'indice était fourni par le conducteur Toutefois, rien n'indique que les conducteurs âgés sont capables de tirer vraiment bénéfice d'indices contextuels. Pourtant, dans certains contextes, ces indices semblent améliorer, voire faciliter les réactions des conducteurs âgés. En ce sens, Classen et al., (2007) notent que les personnes âgées bénéficient d'un support environnemental plus directif lorsqu'il n'y a pas de contrainte de temps (pour des résultats similaires dans le simulateur voir Shechtman et al., 2007).

Enfin, la thèse renforce de manière très importante l'étude des événements surprenants. Ces situations complexes ont permis de révéler des patrons comportementaux distincts chez certains conducteurs âgés (séquentialisation), qui ne se manifestent pas ou s'observent plus difficilement lors de situations plus élémentaires (T0). D'autres auteurs ont utilisé les événements surprenants afin de faire ressortir des comportements distincts chez certaines populations (alzheimer : Rizzo et al., 1997, 2001; traumatisés crâniens : Cyr, Stinchcombe, Gagnon, Marshall, Man-Son Hing, & Finestone, 2009; jeunes adultes : Hancock & de Ridder, 2003). En somme, nos résultats confirment la pertinence de cette approche, tout spécialement lorsque celle-ci s'arrime à une analyse fine des réactions des conducteurs.

4.8. Conclusion

La présente thèse a permis de mettre en relief des patrons comportementaux qui sont associés aux difficultés de certains conducteurs âgés à faire face à des situations complexes dans un contexte où la pression temporelle est élevée. Ces situations ont pour objectif de simuler des situations dites à haut risque auxquelles tous les conducteurs peuvent être confrontés. Plus précisément, les conducteurs âgés impliqués dans une

collision ont tendance à utiliser les commandes du simulateur de façon ralentie et nettement plus séquentielle. Ces résultats font écho aux hypothèses qui rallient le vieillissement cognitif au déclin des fonctions exécutives et au ralentissement cognitif. Certes les résultats de la présente étude, indépendamment de leur portée indéniable, nous rappellent qu'il faut analyser avec une extrême prudence les informations obtenues. Notamment, il importe de considérer le caractère multifactoriel et parfois artificiel de la conduite automobile en contexte de simulation. Néanmoins, nous sommes persuadés que les résultats obtenus auront une incidence très nette sur la manière d'analyser et d'interpréter les données colligées en contexte de simulation, et potentiellement, sur la manière d'intervenir auprès des conducteurs âgés afin d'augmenter leur sécurité et celle des autres usagers de la route.

5. RÉFÉRENCES

- Adler, G., Rottunda, S., & Dysken, M. (2005). The older driver with dementia: A ten-year review of the literature. *Journal of Safety Research*, 36, 399-407.
- Akinwuntan, A. E., De Weerdt, W., Feys, H., Baten, G., Arno, P., & Kiekens, C. (2003). Reliability of a road test after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, 1792-1796.
- Andres, P., & Van der Linden, M. (2001). Supervisory attentional system in patients with focal frontal lesions. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23, 225-239.
- Anstey, K. J., Woodm J., Lord, S. R., & Walker, J. (2005) Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review* 25, 45-65.
- Attebo, K., Mitchell, P., & Smith, W. (1996). Visual acuity and the causes of visual loss in Australia: the Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology*, 103, 357-364.
- Ball, K., & Owsley, C. (1991). Identifying correlates of accident involvement for the older driver. *Human Factors*, 33, 583-595.
- Ball, K., & Owsley, C. (2003). Driving competence: It's not a matter of age. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51, 1499-1501.
- Ball, K., Roenker, D. L., Wadley, V. G., Edwards, J. D., Roth, D. L., McGwin, G., et al. (2006). Can high-risk older drivers be identified through performance-based measures in a Department of Motor Vehicles setting? *Journal of the American Geriatrics Society*, 54, 77-84.

- Ballard, J., Bishu, R., McCoy, P., & Tarawneh, M. (1993). Factors associated with driving performance of older drivers. Dans U.S. Government (Éd.), *Transportation Research Record 1405* (pp. 64-71). Washington, DC: National Research Council.
- Band, G. P. H., Ridderinkhof, K. R. & Segalowitz, S. (2002). Explaining neurocognitive aging: Is one factor enough? *Brain and Cognition*, 49, 259-267.
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). *Successful Aging : Perspectives From The Behavioral Sciences*. New York, Cambridge University Press.
- Bédard, M., Leonard, E., McAuliffe, J., Gibbons, C., Dubois, S., & Weaver, B. (2006). Visual attention and older drivers: The contribution of inhibition of return to safe driving. *Experimental Aging Research*, 32, 119-135.
- Bekiaris, E., & Amditis, A. (2002). *Advanced Driver Monitoring – The AWAKE project*. Résumé présenté à la e-Safety Congress and Exhibition, 16-18 Septembre 2002. Téléchargé le 10 mai 2007, au http://i-sense.iccs.ntua.gr/assets/publications/C07-2002_EN.pdf.
- Bekiaris, E., Amditis, A., & Panou, M. (2003). Drivability: A new concept for modeling driving performance. *Cognition, Technology and Work journal*, 5, 152-161
- Bieliauskas, L. A. (2005). Neuropsychological assessment of geriatric driving competence. *Brain Injury*, 19, 293-301.
- Belleville, S., Gilbert, B., Fontaine, F., Gagnon, L., Ménard, E., & Gauthier, S. (2006). Improvement of episodic memory in persons with mild cognitive impairment and healthy older adults: evidence from a cognitive intervention program. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders* 22, 486-499.

- Bieliauskas, L. A., Roper, B. R., Trobe, J., Green, P., & Lacy, M. (1998). Cognitive Measures, Driving Safety, and Alzheimer's Disease. *The Clinical Neuropsychologist*, 12, 206-212.
- Blockey, P. N., & Havley, L. R. (1995). Aberrant driving behavior: Errors and violations. *Ergonomics*, 38, 1759-1771.
- Bonnaud, V., Bouston, A., Osiurak, F., & Gil, R. (2004). Le syndrome dysexécutif chez la personne âgée : de la théorie à la pratique. *La Revue Francophone de Gériatrie et de Gériologie*. 103, 147-149.
- Bordeleau, B. (2001). *Évolution de 1985 à 1988 du bilan routier des usagers de la route âgés de 65 ans et plus*. Québec: Société de l'assurance automobile du Québec.
- Brouwer, W. H., Withaar, F. K., Tant, M. L., & van Zomeren, A. H. (2002). Attention and driving in traumatic brain injury: a question of coping with time-pressure. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17, 1-15.
- Brown, L. & Ott, B. (2004). Driving and dementia: a review of the literature. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 17, 232 –240.
- Buckner, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, 44, 195-208.
- Bugaïska, A., Clarys, D., Jarry, C., Taconnat, L., Tapia, G., Vanneste, S., & Isingrini, M. (in press). The effect of aging in recollective experience : The processing speed and executive functioning hypothesis. *Csciousness and Cognition*.
- Burg, A. (1966). Visual acuity as measured by dynamic and static tests: a comparative evaluation. *Journal of Applied Psychology*, 50, 460-466.

- Burg, A. (1967). Some preliminary findings concerning the relation between vision and driving performance. *Journal of the American Optometric Association*, 38, 372-377.
- Burg A. (1971). Vision and driving: a report on research. *Human Factors*, 13, 79-87.
- Burgess, P. W. (1997). Theory and methodology in executive function research. Dans P. Rabbit (Éd.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 81–116). East Sussex, UK: Psychology Press Publishers.
- Burgess, P. W. (2000). Strategy application disorder: the role of the frontal lobes in human multitasking. *Psychological Research*, 63, 279-288.
- Caird, J. K., Edwards, C. J., Creaser, J. I., & Horrey, W. J. (2005). Older driver failures of attention at intersections: Using change blindness methods to assess turn decision accuracy. *Human Factors*, 47, 235-249.
- Cahn-Weiner, D. A., Farias, S. T., Julian, L., Harvey, D. J., Kramer, J. H., Reed, B.R., Mungas, D., Wetzel, M., & Chui, H. (2007). Cognitive and neuroimaging predictors of instrumental activities of daily living. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18, 1-11.
- Cahn-Weiner, D. A., Malloy, P. F., Boyle, P. A., Marran, M., & Salloway, S. (2000). Prediction of functional status from neuropsychological tests in community-dwelling elderly individuals. *The Clinical Neuropsychologist*, 14, 187–195
- Cantin, V., Lavallière, M., Simoneau, M., & Teasdale, N. (2009). Mental workload when driving in a simulator: effects of age and driving complexity. *Accident Analyses and Prevention*, 41, 763-771.
- Cappeliez, P., Landreville, P., & Vézina J. (2000). *Psychologie clinique de la personne âgée*. Masson, Paris.

- Carr, D. B., Duchek, J., Meuser, T., & Morris, J. C. (2006). The older driver with cognitive impairment. *American Family Physician*, 73, 1029-1034.
- Carvalho, K., Pearlson, G., Astur, R., & Calhoun, V. (2006). Simulated driving and brain imaging: combining behavior, brain activity, and virtual reality. *CNS Spectrums*, 11, 52-62.
- Cassavaugh, N. D. & Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics*, 40, 943-952.
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. M. (2001). Changes in executive control across the life-span: Examination of task switching performance. *Developmental Psychology*, 37, 715-730.
- Chandraratna, S. & Stamatiadis, N. (2003). Problem driving maneuvers of elderly drivers. *Transportation Research Record*, 1843, 89-95.
- Chaparro, A., Wood, J. M., & Carberry, T. P. (2005). Effects of age and auditory and visual-dual tasks on driving. *Optometry and Vision Science*, 82, 747-754.
- Claret, P. L. Luna del Castillo, J. D., M., Moleon, J. J. J., Cavanillas, A. B., Martin, M. G., & Vargas, R. G. (2003). Age and sex differences in the risk of causing vehicle collisions in Spain, 1990 to 1999. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 261-272.
- Classen, S., Shechtman, O., Stephens, B., Davis, E., Justiss, M., Bendixen, R., Belchior, P., Sandhu, M., Posse, C., McCarthy, D., & Mann, W. (2006). The impact of roadway intersection design on driving performance of young and senior adults: Preliminary results. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 22, 18-26.
- Clay, O. J., Wadley, V. G., Edwards, J. D., Roth, D. L., Roenker, D. L., & Ball, K. K. (2005). Cumulative Meta-Analysis of the Relationship between Useful Field of

View and Driving Performance in Older Adults: Current and Future Implications.

Optometry and Vision Science, 82, 724-731.

Cook, L. J., Knight, S., Olson, L. M., Nechodom, P. J., & Dean, J. M. (2000). Motor vehicle crash characteristics and medical outcomes among older drivers in Utah, 1992-1995. *Annals of Emergency Medicine*, 35, 585-91.

Cooper, P. (1990). Differences in accident characteristics among elderly drivers and between elderly and middle-aged drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 22, 499-508.

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

Craik, F. I. M. (1994). Memory changes in normal aging. *Current Directions in Psychological Science*, 3, 155-158.

Crawford, S., & Channon, S. (2002). Dissociation between performance on abstract tests of executive function and problem solving in real-life-type situations in normal aging. *Aging and Mental Health*, 6, 12-21.

Cushman, L. A., Good, R. G., & States, J. D. (1991). Characteristics of motor vehicle accidents resulting in spinal cord injury. *Accident, Analysis and Prevention*, 23, 557-560.

Cyr, A. A., Stinchcombe, A., Gagnon, S., Marshall, S., Man-Son Hing, M., & Finestone, H. (2009). Driving difficulties of brain injured drivers in reaction to high crash risk simulated road events: A question of impaired divided attention, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 31, 472-482

- Daigneault, S., & Braun, C. M. J. (1993). Working memory and the self-ordered pointing task: Further evidence of early prefrontal decline in normal aging. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 15, 881-895.
- Daigneault, S., Braun, C. M. J., & Whitaker, H. A. (1992). Early effects of normal aging in perseverative and non-perseverative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychology*, 8, 99-114.
- Daigneault, G., Joly, P., & Frigon, J.-Y. (2002). Executive functions in the evaluation of accident risk of older drivers. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 221-238.
- Davidson, P. S. R., & Glisky, E. L. (2002). Neuropsychological correlates of recollection and familiarity in normal aging. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 2, 174-186.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*, 18, 1201-1209.
- De Jager, C. A., Milwain, E. & Budge, M. (2002). Early detection of isolated memory deficits in the elderly: the need for more sensitive neuropsychological tests. *Psychological medicine*, 32, 483-491.
- De Raedt R, & Ponjaert-Kristoffersen I. (2000). Can strategic and tactical compensation reduce crash risk in older drivers? *Age and Ageing*, 29, 517-521.
- De Raedt, R., & Ponjaert-Kristoffersen, I. (2001). Predicting at fault car accidents of older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 33, 6, 809-819.
- Di Girolamo, G. J., Kramer, A. F., Barad, V., Cepeda, N. J., Weissman, D. H., Milham, M.P., et al., (2001). General and task-specific frontal lobe recruitment in older

adults during executive processes: a fMRI investigation of task-switching.

Neuroreport, 12, 2065-2071.

Di Stefano, M., & Macdonald, W. (2003). Assessment of older drivers:relationships among on-road errors, medical conditions and test outcome. *Journal of Safety Research*, 34, 415-429.

Dobbs, A. R. (2005). The development of a scientifically based driving assessment and standardization procedures for evaluating medically at-risk drivers. Communication présentée à la Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference. Téléchargé le 23 mars 2007, au http://www.driveable.com/physician_materials/.

Dobbs, A. R., Heller, R., & Schopflocher, B. (1998). A comparative approach to identify unsafe older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 363-370.

Edwards, J. D., Ross, L. A., Wadley, V. G., Clay, O. J., Crowe, M. G., Roenker, D. L. & Ball, K. K. (2006). The Useful Field of View Test: Normative Data for Older Adults. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21, 275-286.

Evans, L. (1988). Older driver involvement in fatal and severe traffic crashes. *Journal of Gerontology: Social Sciences*, 43, S186–S193.

Fastenau, P. S., Denburg, N. L., & Abeles, N. (1996). Age differences in retrieval: Further support for the resource-reduction hypothesis. *Psychology and Aging*, 11, 140-146.

Fernandez-Duque, D., Baird, J. A., & Posner, M. I. (2000). Executive attention and metacognitive regulation. *Consciousness & Cognition*, 9, 288-307.

- Fernandes, M. A., Davidson, P. S. R., Glisky, E. L., & Moscovitch, M. (2004). Contribution of frontal and temporal lobe function to memory interference from divided attention at retrieval. *Neuropsychology*, 18, 514-525.
- Fernandes, R., Job, R., & Hatfield, J. A. (2007). Challenge to the assumed generalizability of prediction and countermeasure for risky driving: Different factors predict different risky driving behaviors. *Journal of Safety Research*, 38, 59–70.
- Fildes, B., Charlton, J., Muir, C., & Kopple, S. (2007). Driving responses of older and younger drivers in a driving simulator. *Annual Proceedings Association for the Advancement for Automotive Medicine*, 51, 559-572.
- Fisher, D. L., Duffy, S. A., & Katsikopoulos, K. V. (2000). Cognitive slowing among older adults: what kind and how much. Dans T. J. Perfect & E. A. Maylor (Éds), *Models of cognitive aging* (pp 87-124). Oxford: Oxford University Press.
- Fisk, J. E., & Sharp, C. A. (2004). Age-related impairment in executive functioning: Updating, inhibition, shifting, and access. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 7, 874–890
- Flicker, C., Ferris, S. H., & Reisberg, B. (1991). Mild cognitive impairment in the elderly: Predictors of dementia. *Neurology*, 41, 1006-1009.
- Fonda, S. J., Wallace, R. B., & Herzog, A. R. (2001). Changes in driving patterns and worsening depressive symptoms among older adults. *Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 56, S343–S351.
- Fricke, J., & Unsworth, C. A. (2001). Time use and the importance of instrumental activities of daily living. *Australian Occupational Therapy Journal*, 48, 118-131.

- Friedland, R. P., Koss, E., Kumar, A., Gaine, S., Metzler, D., Haxby, J. V., & Moore, A. (1988). Motor vehicle crashes in dementia of the Alzheimer type. *Annals of Neurology*, 24, 782-786.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., Defries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17, 172-179.
- Gagnon, S., Villemure, R., Montembeault, P., & Bélanger, A. (2007). Vieillissement cognitif et conduite automobile. *Revue Québécoise de Psychologie*, 27, 169-190.
- Gebers, M.A. (1990) *Traffic conviction and accident record facts*. Sacramento, CA: California Department of Motor Vehicles.
- Glisky, E. L., Polster, M. R., & Routhieaux, B. C. (1995). Double dissociation between item and source memory. *Neuropsychology*, 9, 229-235.
- Glisky, E. L., Rubin, S. R., & Davidson, P. S. R. (2001). Source memory in older adults: An encoding or retrieval problem? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, 1131-1146.
- Godefroy O. (2003). Frontal syndrome and disorders of executive functions. *Journal of Neurology*, 250, 1-6
- Grady C. L., & Craik F. I. (2000). Changes in memory processing with age. *Current Opinion in Neurobiology*, 10, 224-31.
- Griffin, L. I. (2004). *Older Driver Involvement in Injury Crashes in Texas: 1975–1999*. Washington: AAA Foundation for Traffic Safety. Téléchargé le 2 mars 2006 au <http://www.aaafoundation.org/pdf/OlderDriverInvolvementInInjuryCrashes.pdf>.

- Guerrier, J. H., Manivannan, P., & Nair, S. N. (1999). The role of working memory, field dependence, visual search, and reaction time in the left turn performance of older female drivers. *Applied Ergonomics*, 30, 109–119.
- Gunning-Dixon, F., & Raz, N. (2003). Neuroanatomical correlates of selected executive functions in middle-aged and older adults: A prospective MRI study. *Neuropsychologia*, 41, 1929–1941.
- Gunstad, J., Paul, R., Brickman, A., Cohen, R., Arns, M., Roe, D., et al. (2006). Patterns of Cognitive Performance in Middle-aged and Older Adults: A Cluster Analytic Examination. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 19, 59–64.
- Hakamies-Blomqvist, L. (1994). Compensation in older drivers as reflected in their fatal accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 107–112.
- Hakamies-Blomqvist, L. (1998). Older Drivers' Accident Risk: Conceptual and methodological issues. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 293–297.
- Hakamies-Blomqvist, L., Mynttinen, S., Backman, M., & Mikkonen, V. (1999). Age-related differences in driving: Are older drivers more serial? *International Journal of Behavioral Development*, 23, 575–589.
- Hancock, P.A., & de Ridder, S. (2003). Behavioral response in accident-likely situations. *Ergonomics* 46, 1111–1135.
- Hancock, P. A., & Verwey, W. B. (1997). Fatigue, workload and adaptive driver systems. *Accident Analysis and Prevention*, 29, 495–506
- Hanninen, T., Hallikainen, M., Tuomainen, S., Vanhanen, M., & Soininen, H. (2002). Prevalence of mild cognitive impairment: a population-based study in elderly subjects. *Acta Neurologica Scandinavica*, 106, 148–154.

- Harrison, A., & Ragland, D. (2003). Consequences of driving reduction or cessation for older adults. *Transportation Research Record, 1843*, 96-104.
- Hasher, L., Tonev, S. T., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2001). Inhibitory control, environmental support, and self-initiated processing in aging. Dans M. Naveh-Benjamin, M. Moscovitch, & H. L. Roediger (Éds.), *Perspectives on human memory and cognitive aging: Essays in honor of Fergus Craik* (pp. 286-297). Ann Arbor, MI: Edwards Brothers.
- Hasher, L., & Zacks, R.T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. Dans G. H. Bower (Éd.) *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (pp. 193-225). San Diego, CA, US: Academic Press, Inc
- Head, D., Snyder, A. Z., Girton, L. E., Morris, J. C., & Buckner, R. L. (2005) Frontal-hippocampal double dissociation between normal aging and Alzheimer's disease. *Cerebral Cortex, 15*, 732-739.
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. E. (2005) Healthy and pathological processes in adult development: New evidence from neuroimaging of the human brain. *Current Opinion in Neurology, 18*, 740-747.
- Hebert, L. E., Scherr, P. A., Bienias, J. L., Bennett, D. A., & Evans, D. A. (2003). Alzheimer's disease in the U.S. population: prevalence estimates using the 2000 census. *Archives of Neurology, 60*, 1119-1122.
- Hills, B. L., & Burg, A. (1974). *Vision and audition in driving*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.

- Hing, J., Stamatiadis, N., & Aultman-Hall, L. (2003). Evaluating the impact of passengers on the safety of older drivers. *Journal of safety research*, 24, 343-351.
- Horberry, T., Anderson, J., Regan, M., Triggs, T., & Brown, J. (2006). Driver distraction: the effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 185-191.
- Horswill, M. S., Marrington, S. A., McCullough, C. M., Wood, J., Pachana, N. A., McWilliam, J., & Raikos M. K. (2008). The hazard perception ability of older drivers. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 63, 212-218.
- Houston, W. S., Delis, D. C., Lansing, A., Jacobson, M. W., Cobell, K. R., Salmon, D. P., & Bondi, M. W. (2005). Executive function asymmetry in older adults genetically at-risk for Alzheimer's disease: verbal versus design fluency. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11, 863-70.
- Hu, P. S., Trumble, D. A., Foley, D. J., Eberhard, J. W., & Wallace, R. B. (1998). Crash risks of older drivers: A panel dataanalysis. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 569-581.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & Van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017-2036.
- Hunt, L. A., Murphy, C. F., Carr, D., Duchek, J. M., Buckles, V., & Morris, J. C. (1997). Reliability of the Washington University Road Test. A performance-based assessment for drivers with dementia of the Alzheimer type. *Archives of Neurology*, 54, 707-712.

- Jang, R. W., Man-Son-Hing, M., Molnar, F. J., Hogan, D. B., Marshall, S. C., Auger, J., et al. (2007). Family physicians' attitudes and practices regarding assessments of medical fitness to drive in older persons. *Journal of General Internal Medicine*, 22, 531-43.
- Just, M. A., Keller, T. A., & Cynkar, J. A. (2008). A decrease in brain activation associated with driving when listening to someone speak. *Brain Research*, 1205, 70-80.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontalcortex in working memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differencesperspective. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 637-671
- Kent, R., Henary, B., & Matsuoka F. (2005). On the fatal crash experience of older drivers. *Annual proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 49, 371-391.
- Keys, B. A., & White, D. A. (2000). Exploring the relationship betweenage, executive abilities, and psychomotor speed. *Journal of the International Society*, 6, 76-82.
- Kirasic, K. C., Allen, G. L., Dobson, S. H., & Binder, K. S. (1996). Aging, cognitive resources and declarative learning. *Psychology and Aging*, 11, 658-670.
- Klein, B. E., Klein, R., & Linton, K.L. (1992). Prevalence of age-related lens opacities in a population. The Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology*. 99, 546-552.
- Kortte, K. B., Horner, M. D., & Windham, W. K. (2002). The Trail Making Teste, part B: cognitive flexibility or ability to maintain set? *Applied Neuropsychology*, 9, 106-109.

- Kramer, A. F., Cassavaugh, N., Horrey, W. J., Becic, E., & Mayhugh, J. (2007). Influence of age and proximity warning devices on collision avoidance in simulated driving. *Human Factors*, 49, 935-949.
- Kua, A., Korner-Bitensky, N., Desrosiers, J., Man-Son-Hing, M., & Marshall, S. C. (2007). Older driver retraining: A systematic review of evidence of effectiveness. *Journal of Safety Research*, 38, 81-90.
- Langford, J., Koppel, S., Andrea, D., & Fildes, B. (2006). Determining older driver crash responsibility from police and insurance data. *Traffic Injury Prevention*, 7, 343-351.
- Langford, J., Methorst, R., & Hakamies-Blomqvist, L. (2006). Older drivers do not have a high crash risk--a replication of low mileage bias. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 574-578.
- Lee, H. C., Drake, V., & Cameron, D. (2002). Identification of appropriate assessment criteria to measure older adults' driving performance in simulated driving. *Australian Occupational Therapy Journal*, 49, 150-157.
- Lee, H. C., Lee, A. H., Cameron, D., & Li-Tsang, C. (2003). Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *Journal of Safety Research*, 34, 453-459.
- Lee HC, & Lee AH. (2005). Identifying older drivers at risk of traffic violations by using a driving simulator: a 3-year longitudinal study. (2005). *The American Journal of Occupational Therapy*, 59, 97-100.
- Lee, J. D., & Strayer, D. L. (2004). Preface to the special section on driver distraction. *Human Factors*, 46, 583-586.

- Lefrançois, R., & D'Amours, M. (1997). La performance des automobilistes âgés dans les situations de conduite difficile. *Canadian Journal on Aging, 16*, 320-336.
- Levey, A., Lah, J., Goldstein, F., Steenland, K., & Bliwise, D. (2006). Mild cognitive impairment: an opportunity to identify patients at high risk for progression to Alzheimer's disease. *Clinical Therapeutics, 28*, 991-1001.
- Levison, W. H. (1993). A simulation model of Driver's use of in-vehicle information systems. *Transportation Research Record, 1403*, 7-13.
- Levison, W. H., Simsek, O., Bittner, A. C., & Hunn, S. J. (2001). Computational techniques used in the driver performance model of the interactive highway safety design model. *Transportation Research Record, 1779*, 17-25.
- Lesikar, S. E., Gallo, J. J., Rebok, G. W., & Keyl, P. M. (2002). Prospective study of brief neuropsychological measures to assess crash risk in older primary care patients. *Journal of the American Board of Family Practice, 15*, 11-19.
- Li, G. H., Braver, E. R., & Chen, L. H. (2003). Fragility versus excessive crash involvement as determinants of high death rates per vehicle-mile of travel among older drivers. *Accident Analysis and Prevention, 35*, 227-235.
- Lincourt, A. E., Folk, C. L., & Hoyer, W. J. (1997). Effects of aging on voluntary and involuntary shifts of attention. *Aging, Neuropsychology and Cognition, 4*, 290-303.
- Logan, J. M., Sanders, A. L., Snyder, A. Z., Morris, J. C., & Buckner, R. L. (2002). Under-recruitment and non selective recruitment: dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron, 33*, 827-840.

- Lyman, S., Ferguson, S. A., Braver, E. R., & Williams, A. F. (2002). Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes. *Trends and Projections. Injury Prevention*, 8, 116–120.
- Makishita, H., & Matsunaga, K. (2008). Differences of drivers' reactions times according to age and mental workload. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 567-575.
- Man-Son-Hing, M., Marshall, S. C. Molnar, F. J., & Wilson, K. G. (2007). Systematic review of driving risk and the efficacy of compensatory strategies in persons with dementia. *Journal of the American Geriatrics Society*, 55, 878-884
- Mariani, E., Monastero, R., & Mecocci, P. (2007). Mild cognitive impairment: a systematic review. *Journal of Alzheimer's Disease*, 12, 23-35.
- Marottoli, R. A., de Leon, C. F. M., Glass, T. A., Williams, C. S., Cooney, L. M., & Berkman, L. F. (2000). Consequences of driving cessation: decreased out-of-home activity levels. *Journals of Gerontology Series B-Psychological Sciences and Social Sciences*. 55, S334-S340.
- Massie, D. L., Campbell, K. L., & Williams, A. F. (1995). Traffic collision involvement rates by driver age and gender. *Collision Analysis and Prevention*, 21, 73-87.
- Massie, D. L., & Campbell, K. L. (1993). Accident involvement rates by age and gender. *UMTRI Research Review*, 23, 1-20.
- Mayhew, D. R., Simpson, H. M., & Ferguson, S. A. (2006). Collisions involving senior drivers: high-risk conditions and locations. *Traffic Injury Prevention*, 7, 117-124.
- Mayr, U. (2001). Age differences in the selection of mental sets: The role of inhibition, stimulus ambiguity, and response-set overlap. *Psychology and Aging*, 16, 96-109.

- Mayr, U., Spieler, D., & Kliegl, R. (2001). Ageing and executive control: Introduction to the special issue. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 1-4.
- McGwin, G., & Brown, D. (1999). Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 31, 181-198.
- McKenna, P., Jefferies, L., Dobson, A., & Frude, N. (2004). The use of a cognitive battery to predict who will fail an on-road driving test. *British Journal of Clinical Psychology*, 43, 325-336
- McKnight, A. J., & McKnight, A. S. (1999). Multivariate analysis of age-related driver ability and performance deficits. *Accident Analysis and Prevention*, 31, 445-454.
- Meda, S., Calhoun, V. D., Astur, R., Turner, B., Ruopp, K., & Pearlson, G. D (Sous press). Alcohol dose effects on brain circuits during simulated driving: An fMRI study. *Human Brain Mapping*.
- Merat, N., Anttila, V., & Luoma, J. (2005). Comparing the driving performance of average and older drivers: The effect of surrogate in-vehicle information systems. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 8, 147-166.
- Messinger-Rapport, B. J. (2003). Assessment and counselling of older drivers: a guide for primary care physicians. *Geriatrics*, 58, 16-24.
- Messinger-Rapport B. J., & Rader, E. (2000). High risk on the highway: How to identify and treat the impaired older driver. *Geriatrics*, 55, 32-45.
- Meuleners, L. B., Harding, A., Lee, A. H. & Legge, M. (2006) Fragility and crash over-representation among older drivers in Western Australia. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 1006-1010.

- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485–520). New York: Plenum.
- Mitrushina, M., Uchiyama, C., & Satz, P. (1995). Heterogeneity of cognitive profiles in normal aging: Implications for early manifestations of Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17, 374-382.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology. General* 130, 621-640.
- Molnar, F. J., Byszewski, A. M., Marshall, S. C., & Man-Son-Hing, M. (2005). In-office evaluation of medical fitness to drive. *Canadian Family Physician*, 51, 372-379.
- Moscovitch, M., & Winocur, G. (1995). Frontal lobes, memory, and aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 119-150.
- Morris, J., Storandt, M., Miller, P., McKeel, D., Price, J., Rubin, E. & Berg, L. (2001). Mild cognitive impairment represents early-stage Alzheimer disease. *Archives of Neurology*, 58, 397-405.
- Murden, R., & Unroe, K. (2005). Assessing older drivers. A primary care protocol to evaluate driving safety risk. *Geriatrics*, 60, 22-25.

- National Highway Traffic Safety Administration, Department of Transportation of United States. (2006). *Traffic Safety Facts 2005: Older Population*. Washington (DC): NHTSA. Téléchargé le 2 avril 2007, au <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-30/NCSA/TSF2005/810622.pdf>.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action. Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Éds.), *Consciousness and self regulation* (pp. 1–17). New York: Plenum.
- Odenheimer, G. L., Beaudet, M., Jette, A. M., Albert, M. S., Grande, L., & Minaker, K. L. (1994). Performance-based driving evaluation of the elderly driver: safety, reliability, and validity. *Journal of Gerontology*, 49, 153-159.
- O'Neill D. (1992). Physicians, elderly drivers and dementia. *Lancet*, 339, 41-43.
- O'Neill D. (1996). Dementia and driving: screening, assessment and advice. *Lancet*, 348, 1114.
- Organisation mondiale de la Santé. (2001). *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé*. Genève : Équipe Classification, Évaluation, Enquêtes et Terminologie. Téléchargé le 3 novembre 2006 au <http://www.who.int>.
- Owsley, C., Ball, K., Sloane, M. E., Roenker, D. L., & Bruni, J. R. (1991). Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. *Psychology and Aging*, 6, 403–415.
- Owsley, C., McGwin, G., & Ball, K. (1998). Vision impairment, eye disease, and injurious motor vehicle crashes in the elderly. *Ophthalmic Epidemiology*, 5, 101–113.

- Owsley, C., & McGwin, G. (1999). Vision impairment and driving. *Survey of Ophthalmology*, 43, 535-550.
- Owsley, C., Ball, K., McGwin, G., Sloane, M. E., Roenker, D. L., White, M. F. & Overley, T. (1998). Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *Journal of the American Medical Association*, 279, 1083-1088.
- Parker, D., Reason, J. T., Manstead, A. S. R., & Stradling, S. G. (1995). Driving errors, driving violations and accident involvement. *Ergonomics*. 38, 1036-1048.
- Patomella, A. H., Tham, K., & Kottorp, A. (2006). P-drive: assessment of driving performance after stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 38, 273-279.
- Persson, D. (1993). The elderly driver: Deciding when to stop. *Gerontologist*, 33, 411–416.
- Plumet, J., Gil, R., & Goanac'h, D. (2005), Neuropsychological assessment of executive functions in women : effects of age and education, *Neuropsychology*, 19, 566-577.
- Preusser, D. F., Williams, A. F., Ferguson, S. A., Ulmer, R. G. and Weinstein, H. B. (1998). Fatal crash risk for older drivers at intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 151-160.
- Rabbitt, P. (1997). Methodologies and models in the study of executive function. Dans P. Rabbitt (Éd.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 1–38). East Sussex, UK: Psychology Press Publishers.
- Ragland, D. R., Satariano, W. A., & MacLeod, K. E. (2005). Driving cessation and increased depressive symptoms. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 60, 399–403.

- Rapp, M. A., Schnaider Beer, M., Schmeidler, J., Sano, M., Silverman, J. M., & Haroutunian, V. (2005). Relationship of neuropsychological performance to functional status in nursing home residents and community-dwelling older adults. *American journal of geriatric psychiatry*, 13, 450-459.
- Raz, N. (2005). The aging brain observed in vivo: differential changes and their modifiers. Dans Cabeza R, Nyberg L, Park D. C. (Éds) *Cognitive neuroscience of aging: linking cognitive and cerebral aging* (pp. 19-57). London: Oxford University Press.
- Raz, N., Gunning-Dixon, F. M., Head, D., Dupuis, J. H., & Acker, J. D. (1998). Neuroanatomical correlates of cognitive aging: Evidence from structural magnetic resonance imaging. *Neuropsychology*, 12, 95–114.
- Raz, N., & Rodrigue, K. M. (2006). Differential aging of the brain: patterns, cognitive correlates and modifiers. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30, 730-748.
- Reger, M. A., Welsh, R. K., Watson, G. S., Cholerton, B., Baker, L. D., & Craft, S. (2004). The relationship between neuropsychological functioning and driving ability in dementia: A meta-analysis. *Neuropsychology*, 18, 85-93.
- Reinach, S. J., Rizzo, M., & McGehee, D. V. (1997). Driving with Alzheimer disease: the anatomy of a crash. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, 11, 21-27.
- Retchin, S. M., & Anapolle, J. (1993). A overview of the older driver. *Clinic in Geriatric Medicine*, 9, 279–296.
- Rhodes, M. G. (2004). Age-related differences in performance on the Wisconsin Card Sorting Test: A meta-analytic review. *Psychology and Aging*, 19, 482-494.

- Rizzo, M. (2004). Safe and unsafe driving. Dans Rizzo, M., Eslinger, P. J., (Éds.), *Principles and Practice of Behavioral Neurology and Neuropsychology* (pp. 197-222). Philadelphia, Pennsylvania: WB Saunders.
- Rizzo, M., McGehee, D. V., Dawson, J. D., & Anderson, S. N. (2001). Simulated car crashes at intersections in drivers with Alzheimer disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, 15, 10-20.
- Rizzo, M., Reinach, S., McGehee, D., & Dawson, J. (1997). Simulated car crashes and crash predictors in drivers with Alzheimer disease. *Archives of Neurology*, 54, 545-551.
- Rizzo, M., Stierman, L., Skaar, N., Dawson, J. D., Anderson, S. W., & Vecera, S. P. (2004). Effects of a controlled auditory-verbal distraction task on older driver vehicle control. *National Academy of Sciences: Transportation Research Record*, 1865, 1-6.
- Roche, J. (2005). Conduite automobile et maladie d'Alzheimer. *Psychologie and Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 3, 163-168.
- Rosen, A. C., Prull, M. W., O'Hara, R., Race, E. A., Desmond, J. E., Glover, G. H., Yesavage, J. A., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Variable effects of aging in frontal contributions to memory. *Neuroreport*, 13, 2425-2428.
- Roenker, D. L., Cissell, G. M., Ball, K. K., Wadley, V. G., & Edwards, J. D. (2003). Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Human Factors*, 45, 218-233.
- Rosenbloom, S. (2003). *The mobility needs of older Americans: Implications for transportation reauthorization*. Washington, DC: Center on Urban and

- Metropolitan Policy, Brookings Institution. Téléchargé le 11 décembre 2006, au www.brookings.edu/dybdocroot/es/urban/publications/20030807_Rosenbloom.pdf.
- Rothe, J. P. (1990). The safety of elderly drivers. London: Transaction Publishers.
- Rushworth, M. F. S., Hadland, K. A., Gaffan, D., & Passingham, R. E. (2003). The effect of cingulate cortex lesions on task switching and working memory. *Journal of cognitive neuroscience*, 15, 338–353
- Ryan, G. A., Legge, M., & Rosman, D. (1998). Age Related Changes in Drivers' Crash Risk and Crash Type. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 379-387.
- Salat, D. H., Buckner, R. L., Snyder, A. Z., Greve, D. N., Desikan, R. S., Busa, E., Morris, J. C., Dale, A. M., & Fischl, B. (2004). Thinning of the cerebral cortex in aging. *Cerebral Cortex*, 14, 721-730.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428.
- Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, 54, 35-54.
- Salthouse, T. A. (2005). Relations between cognitive abilities and measures of executive functioning. *Neuropsychology*, 19, 532–545.
- Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 566–594
- Salthouse, T. A., Mitchell, D. R., Skovronek, E., & Babcock, R. L. (1989). Effects of Adult Age and Working Memory on Reasoning and Spatial Abilities. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15, 507-516.

- Schneider, B. A., & Pichora-Fuller, M. K. (2000). Implications of perceptual deterioration for cognitive aging research. Dans F. I. M., Craik, & T. A., Salthouse (Éds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 155-219). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shallice, T. (1988). From neuropsychology to mental structures. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Higher-order cognitive impairments and frontal lobe lesions in man. Dans H. S., Levin, H. M., Eisenberg, & A. L., Benton (Éds.) *Frontal Lobe Function and Dysfunction* (pp. 125-138). New York: Oxford University Press.
- Sharp, D. J., Scott S. K., Mehta, M. M., & Wise R. J. S. (2006) The neural basis of age-related changes in cognitive control. *Cerebral Cortex* 16, 1739-1749.
- Shechtman, O., Classen, S., Stephens, B., Bendixen, R., Belchoir, P., Sandhu, M., McCarthy, D., Mann, W., & Davis, E. (2007). The impact of intersection design on simulated driving performance of young and senior adults. *Traffic Injury Prevention* 8, 78-86.
- Sheridan, T. B. (2004). Driver distraction from a control theory perspective. *Human Factors*, 46, 587-599.
- Shilling, V. M., Chetwynd, A., & Rabbitt, P. M. A. (2002). Individual inconsistency across measures of inhibition: an investigation of the construct validity of inhibition in older adults. *Neuropsychologia*, 40, 605-619.
- Simms, B. (1985). Perception and driving: Theory and practice. *British Journal of Occupational Therapy*, 48, 363-366.

- Sims, R. V., Owsley, C., Allman, R. M., Ball, K., & Smoot, T. M. (1998). A preliminary assessment of the medical and functional factors associated with vehicle crashes by older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 46, 556–561.
- Sinnott, J. D. (1989). A model for solution of ill-structured problems: Implications for everyday and abstract problem solving. Dans J. D., Sinnott (Éd.), *Everyday problem solving: Theory and applications* (pp. 72-99). New York: Praeger.
- Sims, R. V., McGwin, G., Jr., Allman, R. M., Ball, K., & Owsley, C. (2000). Exploratory study of incident vehicle crashes among older drivers. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 55, M22–M27.
- Small, B. J., Gagnon, E., Robinson, B., (2007). Early identification of cognitive deficits: preclinical Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Geriatrics*. 62, 19-23.
- Smith., A.,B., Taylor, E., Brammer, M., Toone, B., & Rubia, K. (2006). Task-specific hypoactivation in prefrontal and temporoparietal brain regions during motor inhibition and task switching in medication-naïve children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. *American Journal of Psychiatry*, 163, 1044–1051.
- Spiers, H. J., & Maguire, E. A. (2007). Neural substrates of driving behaviour. *NeuroImage*, 36, 245-255.
- Spren, O., & Strauss, E. (1998). A compendium of neuropsychological tests. New York: Oxford University Press.

- Staplin, L., Lococo, K., Byington, S., & Harkey, D. (2001). *Guidelines and recommendations to accommodate older drivers and pedestrians*. Washington, DC: United States Department of Transportation, Federal Highway Administration
- Stamatiadis, N., Taylor, W., & McKelvey, F. (1991). Elderly drivers and intersection accidents. *Transportation Quarterly*, 45, 377-390.
- Stephens, B., McCarthy, D. P., Marsiske, M., Classen, S., Shechtman, O., Justiss, M. D., et al. (2005). International older driver consensus conference on assessment, remediation and counseling for transportation alternatives: Summary and recommendations. *Physical & Occupational Therapy in Geriatrics*, 23, 103-121.
- Stuss, D. T., Shallice, T., Alexander, M. P., & Picton, T. W. (1995). A multidisciplinary approach to anterior attentional functions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 191-211.
- Stutts, J. C., Stewart, J. R., & Martell, C. (1998). Cognitive test performance and crash risk in an older driver population. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 337-346.
- Stutts J. C., & Wilkins, J. W. (2003). On-road driving evaluations: a potential tool for helping older adults drive safely longer. *Journal of Safety Research*, 34, 431-439.
- Summala, H., & Mikkola, T. (1994). Fatal accidents among car and truck drivers: effects of fatigue, age, and alcohol consumption. *Human Factors*, 36, 315-326.
- Szameitat, A. J., Schubert, T., Muller, K., & von Cramon, D. Y. (2002). Localization of executive functions in dual-task performance with fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1184-1199.

- Szlyk, J. P., Myers, L., Zhang, Y., Wetzel, L., & Shapiro, R. (2002). Development and assessment of a neuropsychological battery to aid in predicting driving performance. *Journal of rehabilitation research and development*, 39, 483-496.
- Tavris, D. R., Kuhn, E. M., & Layde, P. M. (2001). Age and Gender Patterns in Motor Vehicle Crashinjuries: Importance of Type of Crash and Occupant Role. *Accident Analysis and Prevention*, 33, 167-172.
- Tuokko, H. A., Rhodes, R. E., & Dean, R. N. (2007). Health conditions, health symptoms and driving difficulties in older adults. *Age and Ageing*, 36, 389-394.
- Tomprowski, P. D. (2003). Performance and perceptions of workload among young and older adults: effects of practice during cognitively demanding tasks. *Educational Gerontology*, 29, 447-466.
- Uc, E. Y., Rizzo, M., Anderson, S., Shi, Q., & Dawson, J. D. (2006). Unsafe rear-end collision avoidance in Alzheimer's disease, *Journal of the Neurological Sciences*, 251, 35-43.
- Van Petten, C., Plante, E., Davidson, P. S. R., Kuo, T. Y., Bajuscak, L., & Glisky, E. L. (2004). Memory and executive function in older adults: Relationships with temporal and prefrontal gray matter volumes and white matter hyperintensities. *Neuropsychologia*, 42, 1313-1335.
- Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control and attention: A review of meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral reviews*, 26, 849-857.
- Verhaeghen, P., & De Meersman, L. (1998). Aging and the Stroop effect: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 13, 120-126.

- Verhaeghen, P., Steitz, D. W., Sliwinski, M. J., & Cerella, J. (2003). Aging and dual-task performance: A meta-analysis. *Psychology and Aging, 18*, 443-460.
- Verwey, W. B. (2000). On-line driver workload estimation. Effects of road situation and age on secondary task measures. *Ergonomics, 43*, 187-209.
- Wang, C. C., & Carr, D. B. (2004). Older driver safety: a report from the older driver project. *Journal of the American Geriatrics Society, 52*, 143-149.
- Walter, H., Vetter, S. C., Grothe, J., Wunderlich, A. P., Hahn, S., Spitzer, M. (2001), The neural correlates of driving. *NeuroReport, 12*, 1763-1767
- Weaver, B., Bédard, M., McAuliffe, J. & Parkkari, M., (2009). Using the Attention Network Test to predict driving test scores. *Accident Analysis and Prevention, 41*, 76-83.
- Wecker, N. S., Kramer, J. H., Wisniewski, A., Delis, D. C., & Kaplan, E. (2000). Age effects on executive ability. *Neuropsychology, 14*, 409-414.
- Wecker, N. S., Kramer, J. H., Hallam, B. J., & Delis, D. C. (2005). Mental flexibility: Age effects on switching. *Neuropsychology, 19*, 345-352.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin, 120*, 272-292
- West, R. L. (1999). Age differences in lapses of intention in the Stroop task. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 54*, P34-P43.
- West, R. L. (2000). In defense of the frontal lobe hypothesis of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society, 6*, 727-729

- Wester, A. E. Bocker, K. B. E., Volkerts E. R., & Verster J. C. (2008). Event related potentials and secondary task performance during simulated driving. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1-7
- Williams, A. F., Preusser, D. F., & Ferguson, S. A. (1998). Fatal crashes involving 16-year-old drivers: narrative descriptions. *Journal of Traffic Medicine* 26, 11-17.
- Williams, A. F., & Shabanova, V. I. (2003). Responsibility of Drivers, by Age and Gender, for Motor Vehicle Crash Deaths. *Journal of Safety Research* 34, 527-531.
- Withaar, F. K., Brouwer, W. H., & Van Zomeren, A. H. (2000). Fitness to drive in older drivers with cognitive impairment. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6, 480-490.
- Yan, X., & Radwan, E. (2006). Analyses of rear-end crashes based on classification tree models. *Traffic Injury Prevention*, 7, 276-282.
- Yan, X., Radwan, E., & Guo, D. (2007). Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance. *Accident Analysis and Prevention*. 39, 843-852.
- Zhang, J., Lindsay, J., Clarke, K., Robbins, G., & Mao, Y. (2000). Factors affecting the severity of motor vehicle traffic crashes involving elderly drivers in Ontario. *Accident Analysis and Prevention*, 32, 117-125.

6.1. Appendice A

Questionnaire pré-expérimental

Date :

Numéro de participant :

Pré-expérimentation

1. Est-ce que vous avez été surpris par la situation présentée ?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2. Est-ce que vous disposiez suffisamment de temps pour réagir ?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. Est-ce que vous aviez de la difficulté à réagir à la situation ?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

4. Est-ce que cette situation était réaliste ?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

5. Qu'est-ce que vous avez aimé de cette situation ?

6. Qu'est-ce que vous n'avez pas aimé de cette situation ?

7. Quelles sont les changements qui devraient être apportées ?

8. Autres commentaires

6.2. Appendice B

Questionnaire téléphonique

Demographic questionnaire - English***HISTORICAL FILE***

The participant can be assured that all information collected will be strictly anonymous and confidential. If some of the following questions cause any inconvenience to the participant (emotional, physical, or other), then the participant has the right to refuse to answer those specific questions.

Demographic information

Date: _____ **Number:** _____

Address:

Phone number: _____ **Home:** () _____ **Work:**
() _____

Place of birth: _____

Mother tongue: _____

Year of immigration: _____

Age: _____ **Date of birth (DD/MM/YY):** _____

Sex: _____

Handedness: _____

a) Has this hand always been your dominant hand?

b) If you are ambidextrous, what vital tasks do you perform with each hand?

Number of school years completed (detailed): _____

Previous job(s): Type of work

Activities: Please indicate the activities that you like to perform on a daily basis?

Do you have a valid driver's license?

Medical information

Vision: _____ Glasses: Y N Colour blindness: Y N

Hearing impaired: _____ Hearing aid: Y N

Have you ever lost consciousness? Have you ever experienced a head injury? Have you ever been in a coma (indicate the circumstance/attack and duration of coma)?

Headache: _____ Epilepsy (type): _____

Heart attack: _____

Diabetes: _____ Thyroid insufficiency: _____

Cardiovascular problems (symptoms, duration): _____

Blood pressure (low/high): _____

Major surgeries: _____

Other serious illnesses (e.g., at birth, in childhood): _____

Exposure to toxin (to what, when, and how long): _____

Amount

Duration

Medication: _____

Alcohol (present): _____

(past): _____

Tobacco: _____

Other drugs: _____

Have you ever taken medication because you were anxious, depressed, or unhappy?

Have you ever had any psychological problems?

Background information

STUDIES AND LEARNING:

Can you recall ever having any problems learning? Do you have problems with basic academic skills such as reading, mathematics, and/or writing?

As a student: _____

Now: _____

Have you ever dropped or skipped a school year? Why? _____

PRESENT SITUATION:

How well did you sleep last night? _____

Did you consume alcohol last night? If yes, how much? _____

Did you drink tea or coffee, or have you taken any other stimulant, this morning? If yes, how much?

Over the course of a normal day, how much tea, coffee, or other stimulants do you consume?

OTHER INFORMATION:

Have you ever had difficulty with your orientation, that is, finding your way in a familiar or an unfamiliar environment?

FAMILY HISTORY:

Yes

At what age?

Dementia: _____

Parkinson's disease: _____

Heart disease: _____

High blood pressure: _____

Stroke: _____

Diabetes: _____

Psychiatric disorder: _____

Neurological disease: _____

Others: _____

Are there other matters concerning your family history, which you think are important and relevant, that I have not asked you?

Conclusion of the interview

I would like to thank you again for taking the time to respond to these questions. I cannot tell you exactly when you will be asked to participate in our research. However, I can tell you that new studies are starting regularly. When you will be called to participate in a specific study, feel free to tell the research assistant if you are not able to participate or do not want to participate in the proposed study.

Questionnaire démographique - français***FICHE HISTORIQUE***

Le répondant peut être assuré que toute information fournie sera traitée confidentiellement. Si le répondant est mal à l'aise de répondre à certaines questions personnelles, il est dans son droit de ne pas répondre aux dites questions.

Information démographique

Date: _____ **Numéro:** _____

Adresse: _____

Numéros de téléphone: Résidence: _____ **Travail:** _____

Lieu de naissance: _____

Langue maternelle: _____

Année d'immigration: _____

Age: _____ **Date de naissance:** _____

Sexe: _____

Dominance manuelle: _____

Cette main a-t-elle toujours été votre main dominante? Si vous êtes ambidextre, dites ce que vous faites avec chaque main.

Années d'études complétées (détaillez): _____

Emploi(s) antérieur(s): Genre de travail exécuté

Pouvez-vous me parler un peu de choses que vous faites régulièrement dans votre vie de tous les jours, par exemple: quel genre d'activités ou de loisirs avez-vous?

Avez-vous un permis de conduire valide? _____

Information médicale

Vue: _____ **Lunettes:** Oui ___ Non ___ **Daltonisme:** Oui ___ Non ___

Surdité: _____ **Appareil auditif:** Oui ___ Non ___

Avez-vous d j perdu connaissance? Avez-vous d j eu une blessure à la tête? Etes-vous d j tombé en coma (dire dans quelle circonstance, attaque, durée)?

Maux de tête: _____ **Epilepsie (genre):** _____

Attaque cardiaque: _____

Diabète: _____ **Insuffisance thyroïdienne:** _____

Insuffisance cardiaque (symptôme, durée): _____

Pression sanguine (hausse/baisse?): _____

Interventions chirurgicales majeures: _____

Autres maladies sérieuses (ex.: de naissance, en bas âge): _____

Exposition toxique (à quoi, quand, durée): _____

Montant

Durée

Médicaments: _____

Alcool (présent): _____

(passé): _____

Tabac: _____

Drogues courantes: _____

Autres: _____

Avez-vous déjà recherché des soins médicaux parce que vous vous sentiez anxieux, déprimé ou malheureux?

Avez-vous déjà eu des problèmes de nature psychologique? _____

Information générale

ÉTUDES ET APPRENTISSAGE:

Vous rappelez-vous d'avoir eu certaines difficultés d'apprentissage? Aviez-vous des problèmes avec les habiletés de base comme la lecture, l'arithmétique ou l'écriture?

En tant qu'étudiant: _____

Maintenant: _____

Avez-vous déjà sauté ou échoué une année scolaire? Pourquoi? _____

SITUATION PRÉSENTE:

Comment avez-vous dormi la nuit dernière? _____

Avez-vous consommé de l'alcool la nuit dernière? Si oui, combien? _____

Avez-vous pris du thé ou du café ou n'importe quel autre stimulant ce matin?
Combien?

Au cours d'une journée typique, combien de thés ou cafés ou autres stimulants
consommez-vous?

DIVERS:

Avez-vous déjà eu des difficultés à vous orienter, à trouver votre chemin dans un
environnement étranger?

HISTOIRE FAMILIALE:

Oui

A quel âge

Démence: _____

Parkinson: _____

Maladie de coeur: _____

Haute pression artérielle: _____

Accident cérébro-vasculaire (ACV): _____

Diabète: _____

Désordre psychiatrique: _____

Maladie neurologique: _____

Autres: _____

Y-a-t-il autres choses que vous croyez être importantes et au sujet desquelles je ne vous ai rien demandé?

Conclusion de l'entrevue

Je tiens à vous remercier d'avoir pris le temps de répondre à ces questions. Je ne peux vous dire à quel moment vous serez sollicité pour participer à une recherche. Toutefois, je vous précise que de nouvelles études commencent régulièrement. Au moment où on communiquera avec vous pour vous signaler le début de l'étude et prendre rendez-vous si vous êtes incapable de participer à l'étude qui vous sera proposée ou ne désirer pas le faire, vous n'aurez qu'à le préciser à l'assistant(e) de recherche.

Appendice C
Simulator Sickness Questionnaire

Date :

Numéro de participant :

Simulator Sickness Questionnaire**SYMPTOM CHECKLIST**

Post-exposure instruction: please fill in this questionnaire once more. Circle below if any of the symptoms apply to you now.

- | | | | | | |
|------------------------------|------|--------------|--------------|----------|----------|
| 1. General discomfort | None | Slight | Moderate | Severe | |
| 2. Fatigue | None | Slight | Moderate | Severe | |
| 3. Boredom | None | Slight | Moderate | Severe | |
| 4. Drowsiness | | None | Slight | Moderate | Severe |
| 5. Headache | None | Slight | Moderate | Severe | |
| 6. Eyestrain | None | Slight | Moderate | Severe | |
| 7. Difficulty focusing | | None | Slight | Moderate | Severe |
| 8. Salivation increase | | None | Slight | Moderate | Severe |
| Salivation decrease | | None | Slight | Moderate | Severe |
| 9. Sweating | None | Slight | Moderate | Severe | |
| 10. Nausea | None | Slight | Moderate | Severe | |
| 11. Difficulty concentrating | None | Slight | Moderate | Severe | |
| 12. Mental depression | | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) |
| 13. "Fullness of the head" | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) | |
| 14. Blurred vision | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) | |
| 15. Dizziness eyes open | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) | |
| Dizziness eyes close | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) | |
| 16. Vertigo | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) | |
| 17. Visual flashbacks* | | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) |
| 18. Faintness | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) | |
| 19. Aware of breathing | | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) |
| 20. Stomach awareness | | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) |
| 21. Loss of appetite | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) | |
| 22. Increased appetite | | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) |
| 23. Desire to move bowels | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) | |
| 24. Confusion | | No | Yes (Slight | Moderate | Severe) |

25. Burping	No	Yes (Slight	Moderate	Severe)
26. Vomiting	No	Yes (Slight	Moderate	Severe)
27. Other	No	Yes (Slight	Moderate	Severe)