Effets d'un entraînement cognitif et d'une immersion en réalité virtuelle sur la cognition et la conduite automobile des seniors

Marion Hay

▶ **To cite this version:**

Marion Hay. Effets d'un entraînement cognitif et d'une immersion en réalité virtuelle sur la cognition et la conduite automobile des seniors. Sciences cognitives. Université de Caen Normandie, 2016. Français. NNT : . tel-01324099

HAL Id: tel-01324099
https://hal.science/tel-01324099

Submitted on 31 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IFSTTAR

INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Région Basse-Normandie

Thèse de doctorat

Soutenue le 08 février 2016

Effets d'un entraînement cognitif et d'une immersion en réalité virtuelle sur la cognition et la conduite automobile des seniors

par **Marion Hay**

en vue de l'obtention du titre de docteur de Physiologie, biologie des organismes, populations, intéractions

l'Université de Caen Normandie dans le cadre de

l'école doctorale Normande Biologie Intégrative, Santé, Environnement – (EdNBISE, Ed 497)

Structures de recherche d'accueil : IFSTTAR – TS2 – Lescot et UMR-S 1075 INSERM-UNICAEN COMETE "Mobilités : Attention, Orientation, Chronobiologie"

Normandie Université

THESE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité Physiologie, biologie des organismes, populations, interactions

Préparée au sein de l'Université de Caen Normandie

Effets d'un entraînement cognitif et d'une immersion en réalité virtuelle sur la cognition et la conduite automobile des seniors

Présentée et soutenue par
Marion HAY

Thèse soutenue publiquement le 08 février 2016 devant le jury composé de		
Madame Mélanie LEVASSEUR	Professeure associée, Sherbrooke, Québec	Rapporteur
Madame Janick NAVETEUR	Maître de conférences des universités – HDR, Valenciennes	Rapporteur
Monsieur Pierre DENISE	Professeur des universités – Praticien hospitalier, Caen	Examinateur
Madame Tania DUKIC-WILLSTRAND	Chargée de recherche, VTI, Göteborg, Suède	Examinateur
Monsieur Michael FALKENSTEIN	Professeur des universités, Dortmund, Allemagne	Examinateur
Monsieur Claude MARIN-LAMELLET	Directeur de recherche, IFSTTAR-TS2-Lescot, Bron	Examinateur
Madame Marie-Laure BOCCA	Maître de conférences des universités – HDR, Caen	Directrice de thèse
Madame Catherine GABAUDE	Chargée de recherche, IFSTTAR-TS2-Lescot, Bron	Examinateur

Thèse dirigée par Marie-Laure BOCCA, laboratoire UMR-S 1075 INSERM-UNICAEN COMETE (Caen)

UNICAEN UNIVERSITÉ CAEN NORMANDIE

EdNBISE Ecole doctorale Normande Biologie Intégrative, Santé, Environnement

COMETE UMR 1075 UNICAEN / INSERM

IFSTTAR

Remerciements

Après de longues journées passées à rédiger cette thèse, le temps est venu d'y mettre un point final et c'est tout naturellement par les remerciements que s'achève cette belle aventure.

Mes premiers remerciements s'adressent bien évidemment à ma directrice de thèse, Marie-Laure Bocca et mon encadrante, Catherine Gabaude. Marie-Laure, merci de m'avoir accompagnée depuis mon stage de Master 1 dans ce passionnant monde de la recherche scientifique, merci pour vos conseils avisés, vos encouragements et votre disponibilité. Catherine, merci pour tes précieux conseils, ton soutien, ta patience et ton éternel optimisme ! Merci à vous deux pour votre présence durant ces trois années et pour votre rigueur professionnelle. J'ai beaucoup appris grâce à vous.

Je tiens ensuite à remercier chaleureusement les membres de mon jury, Mesdames Mélanie Levasseur et Janick Naveteur en tant que rapporteurs, ainsi que Madame Tania Dukic-Willstrand et Messieurs Pierre Denise, Michael Falkenstein et Claude Marin-Lamellet en tant qu'examinateurs, d'avoir accepté de relire et d'évaluer mon travail.

J'adresse également mes remerciements à Pierre Denise en sa qualité d'ancien directeur du laboratoire COMETE, pour son accueil au sein de l'équipe depuis mes stages de Master et ses pertinentes et enrichissantes remarques relatives à mon travail. Merci à Damien Davenne, actuel directeur de COMETE et à l'ensemble de l'équipe pour votre accueil et vos précieux conseils.

Je souhaite également remercier Corinne Brusque de m'avoir accueillie au sein du Lescot et Hélène Tattegrain, directrice actuelle du laboratoire, d'avoir si bien veillée sur moi pendant ces derniers mois de thèse. Hélène, merci pour ton soutien, tes encouragements et pour ta disponibilité.

Je tiens ensuite à remercier les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la bonne réalisation des expérimentations. Je commencerais par remercier Nicolas Adam. Stagiaire en Master 2 puis Ingénieur de Recherche à mes côtés dans le projet SafeMove, tu as été un acolyte de choc et un binôme indispensable au bon déroulé de cette longue expérimentation. Merci pour ta rigueur, ton sens critique, ta bonne humeur et ton sens de l'humour décalé qui nous a valu de nombreux fous rires. Merci également pour tout ce temps passé en expé, que ce soit lors des formations encadrées ou au simulateur, à ne pas compter les heures… Je tiens également à remercier Laurence Paire-Ficout, Fanny Conte et Cécilia Gabel qui m'ont accompagnée dans les débuts de mon expérimentation. Merci à Daniel Ndiaye et Odette Chanut d'avoir crée les différents scénarios de l'immersion sur le simulateur, et surtout, Daniel, merci d'avoir volé à notre secours quand le simulateur avait décidé de ne plus fonctionner correctement… Merci également à Bertrand Richard d'avoir assuré toute la partie « geek » de cette expé. Merci à Fabien Moreau et Philippe Deleurence de m'avoir présenté Victor (le véhicule instrumenté du Lescot) avec lequel j'ai fait un bon bout de chemin !

J'adresse également mes remerciements à Rosa Aiboud en sa qualité de monitrice d'auto-école de m'avoir accompagnée lors de chacune des évaluations de conduite sur

route, de longs mois durant, à redonner les mêmes consignes aux participants, toujours avec le sourire ! Merci également à Soumicha Behloul qui s'est chargée du recrutement des participants et des prises de rendez-vous pour les différentes étapes du protocole. Je voudrais également adresser mes remerciements à Adrien Tedesco, Franck Tarpin-Bernard et Jean-Etienne Fudral de la société SBT avec qui nous avons collaboré pour la mise en place du programme d'entraînement cognitif.

Je tiens à remercier tout particulièrement Sylviane Lafont et Amandine Coquillat de l'UMRESTTE pour votre disponibilité tout au long de ma thèse et pour les fructueux échanges que nous avons eus concernant l'analyse des données. Amandine, merci d'avoir pris le temps de répondre à mes nombreuses demandes, de m'avoir fait découvrir un peu plus le monde des Statistiques et de m'avoir si bien accompagnée lors de la rédaction de certains passages de ma thèse.

Enfin, je remercie tous les participants qui ont activement pris part à ces expérimentations.

J'aimerais également remercier mes collègues du Lescot avec lesquels j'ai eu un réel plaisir à travailler et échanger. Tout d'abord, Caro, ma colloc' de bureau depuis plus de deux ans et Franck, le voisin d'en face, avec qui nous avons partagé de nombreux fous rires caféinés. Merci pour votre gentillesse, vos encouragements et votre soutien dans les moments de doute. Merci Caro d'avoir relu une bonne partie de ce manuscrit. Merci également à Christophe pour ton éternelle bonne humeur, ton sens de l'humour et ton soutien. Merci aussi à Claude, Alexandra, Assitan, Alex, Guillaume, Joceline, Aline, Myriam, Véronique, Nathalie, Bruno, Jonathan, et Thierry.

Je souhaite également remercier Virginie Etienne, Véronique Gabrièle et Anaïs Chétail.

Enfin je remercie les membres de ma famille et mes amis qui m'ont apporté leur soutien sans faille pendant ces trois ans. Merci à Flo, Hélène, Mélanie, Arnaud, Anaïs, Claire, Joy, Marie, Rémi, Julien, Florie, Ladislav, et Gwen. Merci à Grégory, pour ta présence à mes cotés tout au long de cette thèse et merci également à François, Annie, Vanessa et Fred pour vos encouragements.

And, last but not least, je voulais remercier mes parents, Brigitte et Michel, de m'avoir donné la possibilité de faire des études et de m'avoir toujours soutenue et encouragée. Si j'en suis là aujourd'hui, c'est en grande partie grâce à vous.

Table des matières

Résumé i

Abstract ii

Glossaire iii

Liste des figures v

Liste des tableaux vii

Listes des annexes ix

INTRODUCTION GENERALE 1

CADRE THEORIQUE 9

I. Un vieillissement ou des vieillissements ? 11

I.1 Les théories fonctionnalistes du vieillissement 11

I.2 Vers une nouvelle conceptualisation du vieillissement 13

I.3 Conclusion 18

II. Vieillissement normal et cognition 19

II.1 Définitions de la notion de « vieillissement » 19

II.2 Vieillissement cognitif normal 19

II.3 Modélisation théorique du vieillissement cognitif 24

III. Conduite automobile 26

III.1 Définition 26

III.2 Conséquences du vieillissement sur les capacités de conduite 26

III.3 Modèles cognitifs de l'activité de conduite 27

IV. Autorégulation de la conduite automobile 34

IV.1 Définition 34

IV.2 Facteurs influençant l'autorégulation de la conduite 34

IV.3 Conclusion 38

V. Modélisation du processus d'autorégulation de la conduite chez les seniors 40

V.1 Modèle de Rudman et collaborateurs (2006) 40

V.2 Modèle transthéorique du changement de comportement appliqué à la conduite automobile 42

V.3 Modèle du processus d'adoption du comportement de précaution 45

VI. Continuum éducatif des seniors, mobilité et sécurité 49

VI.1 Programmes de formation théorique 49

VI.2 Programmes de formation théorico-pratique 55

VI.3 Outils basés sur l'auto-évaluation et la prise de conscience des capacités 57
VI.4 Entraînement cognitif seul 62
VI.5 Entraînements pratiques 69
VI.6 Conclusion 71
VII. Forces et faiblesses du simulateur de conduite 72
VII.1 Introduction 72
VII.2 Fidélité et validité du simulateur de conduite 72
VII.3 Entraînement et rééducation 74
VII.4 Un défi majeur : le mal du simulateur 75
VII.5 Conclusion 82
VIII. Objectifs et hypothèses de travail 83
PARTIE EXPERIMENTALE 1 85
I. Introduction générale 87
II. Méthodologie générale 87
II.1 Participants 87
II.2 Entraînement cognitif 90
II.3 Immersion sur simulateur de conduite 94
II.4 Activité contrôle 97
II.5 Procédure 98
III. Focus 1 : Entraînement cognitif informatisé et performances cognitives 101
III.1 Introduction 101
III.2 Méthodologie 102
III.3 Résultats 107
III.4 Discussion 117
IV. Focus 2 : Entraînement cognitif informatisé et calibration des capacités cognitives 119
IV.1 Introduction 119
IV.2 Méthodologie 120
IV.3 Résultats 121
IV.4 Discussion 127
V. Focus 3 : Entraînement cognitif informatisé et performances de conduite 131
V.1 Introduction 131
V.2 Méthodologie 134
V.3 Résultats 141

V.4 Discussion 154
VI. Focus 4 : Entraînement cognitif informatisé et bien-être subjectif 159
VI.1 Introduction 159
VI.2 Méthodologie 161
VI.3 Résultats 164
VI.4 Discussion 173
PARTIE EXPERIMENTALE 2 177
I. Introduction générale 179
I.1 Rappels du contexte scientifique 179
I.2 Objectif et hypothèses 179
II. Méthodologie générale 179
II.1 Participants 179
II.2 Procédure 180
III. Etude 1 180
III.1 Synthèse des résultats 180
III.2 Article publié dans la revue *Human Factors* 181
IV. Etude 2 192
IV.1 Synthèse et éléments d'interprétation des résultats 192
IV.2 Article à soumettre dans la revue *Applied Ergonomics* 193
DISCUSSION GENERALE 205
I. Influence de l'entraînement cognitif sur les performances cognitives et de conduite des seniors 207
II. Influence de l'entraînement cognitif sur la calibration des capacités cognitives des seniors 210
III. Rôle du simulateur dans le transfert des bénéfices de l'entraînement cognitif aux performances de conduite sur route 213
IV. Efficacité de la stimulation galvanique cutanée de la nuque sur la réduction du mal du simulateur 215
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 217
Références bibliographiques 221
ANNEXES 245

Résumé

Effets d'un entraînement cognitif et d'une immersion en réalité virtuelle sur la cognition et la conduite automobile des seniors

Le premier objectif de cette thèse était d'évaluer l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif informatisé, associé ou non à une immersion sur simulateur de conduite, sur les performances cognitives et de conduite, sur la calibration des capacités cognitives et sur le bien-être de 88 conducteurs âgés de 70 ans et plus qui sur ou sous-estimaient leurs capacités. Des interventions hebdomadaires ont été menées durant trois mois. Un groupe contrôle a effectué une activité de lecture de magazines. Nos résultats indiquent que l'entraînement cognitif, comme l'activité contrôle, ont amélioré les capacités d'attention visuelle sélective et les adaptations comportementales au volant (choix de vitesse et distances de sécurité). Près de la moitié des participants (41/88, dont 2/3 de sous-estimateurs), ont corrigé leur biais de calibration. L'immersion sur simulateur de conduite n'a pas eu d'effet de transfert sur la conduite réelle. Les bénéfices des interventions sur l'initiation du changement de comportement et la mise en place de stratégies d'autorégulation afin de maintenir la conduite dans des conditions sûres, essentielle au vieillissement réussi, sont discutés. Le second objectif de ce travail était d'évaluer l'efficacité d'une contremesure au mal du simulateur, qui limite son utilisation chez les seniors. Les effets d'une stimulation galvanique cutanée de la nuque ont été évalués et n'ont pas révélé de diminution du mal du simulateur chez les seniors, contrairement aux effets observés chez des sujets jeunes. De nouvelles pistes de recherche sont suggérées afin de d'envisager le simulateur comme moyen d'intervention pour promouvoir une conduite automobile sécuritaire.

Mots clés

Cognition chez la personne âgée, Réalité virtuelle, Prise de conscience, Vieillissement – Aspect psychologique, Conduite automobile - Simulateur

Abstract

Effects of a cognitive training and a virtual reality immersion on older adults' cognition and driving abilities

The main objective of this dissertation was to assess the effectiveness of a computerized cognitive training program, combined or not with a driving simulator immersion, on calibration, cognitive and driving performances and subjective well-being of 88 drivers aged 70 and older who were over or under-estimators of their cognitive abilities. Weekly interventions were conducted during three months. An active control group was engaged in a reading magazine activity. Our results show that the cognitive training and the active control activity both improved visual selective attention abilities and driving style (regarding speed adaptation and safety distances). Almost half of the sample (41/88, with 2/3 who were under-estimators), corrected their calibration bias. The driving simulator immersion did not influence the transfer of cognitive training benefits on road. The benefits of the intervention on the self-regulation process to promote the preservation of the driving activity in safe conditions, which is essential for the successful ageing, are discussed. The second objective was to assess the effectiveness of a countermeasure to reduce the simulator sickness, which is a major limitation to the driving simulator use for the older drivers. The effects of the neck galvanic cutaneous stimulation were assessed and did not reduce simulator sickness symptoms of older drivers, contrarily to young drivers. New research avenues are suggested in order to consider the driving simulator as an intervention tool to promote the driving safety.

Key words

Cognition in older adults, Virtual reality, Awareness, Ageing – psychological aspect, Driving simulator

Glossaire

AC : Activité Contrôle

APOE : Apolipoprotéine E

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

BAAC : Bulletins d'Analyse d'Accidents Corporels

C : estimateurs corrects

EC : Entraînement Cognitif

EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur

ENTD : Enquête Nationale des Transports et Déplacements

GC : Groupe Contrôle

GDE : Goals for Driver Education

GE : Groupe Expérimental

IFSTTAR : Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

Lescot : Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports

LMS : Learning Management System

MMSE : Mini Mental State Examination

MS : Mal du Simulateur

MT : Mal des Transports

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PAPM : Precaution Adoption Process Model

RCI : Reliable Change Index

SBT : Scientific Brain Training

SE : Sur-Estimateur

SGC : Stimulation Galvanique Cutanée

SGV : Stimulation Galvanique Vestibulaire

SRK : Skill Rules Knowledge

SsE : Sous-Estimateur

STAC-r : Scaffolding Theory of Aging and Cognition - revised

TMT : Trail Making Test

UFOV® : Useful Field of View

WAIS : Wechsler Adult Intelligence Scale

WHOQOL-Bref : World Health Organization Quality Of Life – Bref

Liste des figures

Figure 1. Incidence d'implication des conducteurs de véhicules légers dans un accident corporel, taux pour 10000 titulaires du permis de conduire (figure tirée de Fabrigoule & Lafont, 2015) 4
Figure 2. Implication des conducteurs de véhicules légers dans un accident corporel, taux pour 10 millions de km conduits (figure tirée de Fabrigoule & Lafont, 2015)..... 4
Figure 3. Modèle du vieillissement réussi, adapté de Rowe et Kahn, 1997 14
Figure 4. Modèle quadripartite du « bien vieillir », d'après Fernández-Ballesteros, 2008 et Caprara et al., 2013 17
Figure 5. Représentation des changements de l'intelligence fluide et de l'intelligence cristallisée avec l'âge, d'après Anstey et al., 2004 21
Figure 6. Adaptation du modèle STAC-r, Reuter-Lorenz & Park, 2014 24
Figure 7. Représentation du modèle du comportement "Skill Rules Knowledge", d'après Rasmussen (1993) 29
Figure 8. Représentation du modèle de Michon (1985) décrivant le comportement de conduite et les capacités cognitives sous-jacentes 30
Figure 9. Représentation du modèle cognitif de la conduite de Brouwer 31
Figure 10. Adaptation du modèle multifactoriel de la conduite d'Anstey et al., 2005 32
Figure 11. Modèle du processus d'autorégulation de la conduite chez les conducteurs seniors, adapté de Rudman et al., 2006 41
Figure 12. Représentation du processus d'autorégulation de la conduite au travers du modèle transthéorique du changement, adapté de Kowalski et al., 2014..... 44
Figure 13. Représentation des différentes étapes du modèle du processus d'adoption du comportement de précaution, d'après Weinstein, Sandman, & Blalock, 2008..... 46
Figure 14. Représentation du processus d'autorégulation de la conduite au travers du modèle du processus d'adoption du comportement de précaution (PAPM), adapté de Hassan et al., 2015... 48
Figure 15. Simulateur de conduite du Lescot 94
Figure 16. Récapitulatif des différentes étapes de l'étude 100
Figure 17.Visuels issus du test de l'UFOV®..... 104
Figure 18. Représentation des changements des 41 participants devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives à la suite des interventions..... 125
Figure 19. Représentation des changements des 11 participants ayant changé de statut tout en restant des estimateurs incorrects de leurs capacités cognitives..... 126
Figure 20. Représentation des 36 participants n'ayant pas changé leur statut de calibration et étant restés des estimateurs incorrects de leurs capacités cognitives à la suite des interventions 127
Figure 21. Différentes vues de VICTOR, le véhicule expérimental du Lescot..... 135

Figure 22. Graphiques représentant le score total à la TRIP en fonction score de pénalités total par zone d'intérêt relevé grâce à la grille d'observation à T0 (a) et à T1 (b) 140
Figure 23. Performances à la TRIP à T0 et à T1 pour les trois groupes de participants 146
Figure 24. Nombre de pénalités totales relevées grâce à la grille d'observation du comportement à T0 et à T1 pour les trois groupes de participants..... 147

Liste des tableaux

Tableau 1. Programmes de formation théorique adressés aux conducteurs seniors 52
Tableau 2. Programmes de formation théorico-pratique adressés aux conducteurs seniors 56
Tableau 3. Outils basés sur l'auto-évaluation et la prise de conscience des capacités adressés aux conducteurs seniors 59
Tableau 4. Programmes d'entraînement cognitif adressés aux conducteurs seniors..... 65
Tableau 5. Programmes d'entraînement pratiques à la conduite adressés aux conducteurs seniors..... 70
Tableau 6. Croisement des données issues de l'évaluation objective et de l'évaluation subjective des capacités cognitives 89
Tableau 7. Description des vingt exercices du programme d'entraînement cognitif informatisé 92
Tableau 8. Description des cinq situations de conduite réalisées lors de l'immersion sur simulateur 97
Tableau 9. Caractéristiques générales des participants de chaque groupe..... 108
Tableau 10. Comparaison des performances cognitives initiales 110
Tableau 11. Comparaison des performances après chaque intervention 113
Tableau 12. Comparaison des scores de changements entre les deux groupes expérimentaux 115
Tableau 13. Evolution du statut de calibration des participants de chaque groupe à la suite des interventions..... 122
Tableau 14. Statut de calibration final en fonction du statut de calibration initial, indépendamment du groupe d'appartenance 123
Tableau 15. Caractéristiques démographiques des participants en fonction de leur statut de calibration..... 134
Tableau 16. Scores obtenus à la TRIP lors de l'évaluation de conduite initiale 142
Tableau 17. Nombre d'erreurs par zone d'intérêt commises lors de l'évaluation de conduite initiale 144
Tableau 18. Comparaison des scores obtenus à la TRIP lors des évaluations de conduite initiale (T0) et finale (T1) 145
Tableau 19. Comparaison du nombre d'erreurs par zone d'intérêt commises lors des évaluations de conduite initiale (T0) et finale (T1) 149
Tableau 20. Scores obtenus à la TRIP par les SE et les SsE lors de l'évaluation de conduite initiale 152
Tableau 21. Nombre d'erreurs par zone d'intérêt commises par les SE et les SsE lors de l'évaluation de conduite initiale 152

Tableau 22. Scores obtenus à la TRIP par les SE, les SsE et les estimateurs corrects lors de l'évaluation de conduite finale 153
Tableau 23. Nombre d'erreurs par zone d'intérêt commises par les SE, les SsE et les estimateurs corrects lors de l'évaluation de conduite finale 154
Tableau 24. Comparaison des scores de changement des groupes EC et EC + S 165
Tableau 25. Comparaison des effets des interventions (entraînement cognitif ou activité contrôle) sur les indicateurs relatifs au bien-être subjectif 166
Tableau 26. Bien-être subjectif des participants en fonction du statut de calibration avant les interventions 170
Tableau 27. Bien-être subjectif des participants en fonction du statut de calibration après les interventions 172

Listes des annexes

Annexe 1. Détails de la construction des différents profils de conducteurs 247
Annexe 2. Formulaires de consentement, de cessation de droits à l'image et d'indémnisation 248
Annexe 3. Questionnaire d'auto-évaluation des capacités cognitives 255
Annexe 4. Grille TRIP (Test Ride for Investigating Practical fitness to drive) 256
Annexe 5. Grille d'observation du comportement de conduite pour le parcours initial 272
Annexe 6. Grille d'observation du comportement de conduite pour le parcours final 279
Annexe 7. Questionnaire d'évaluation de la qualité de vie WHOQOL-Bref (World Health Organisation Quality of Life – Bref) 287
Annexe 8. Table de conversion des scores bruts en scores transformés de la WHOQOL-Bref 289
Annexe 9. Echelle d'auto-efficacité généralisée 290
Annexe 10. Questionnaire de l'autonomie psychologique 291
Annexe 11. Compilation des différents items du questionnaire de l'autonomie psychologique 294

INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation notable du nombre de personnes âgées dans la population générale depuis plusieurs décennies s'accompagne d'une augmentation du nombre de conducteurs seniors sur les routes (Burkhardt & Mcgavock, 1999 ; Lyman et al., 2002). La combinaison de plusieurs événements démographiques tels que le baby-boom d'après la Seconde Guerre Mondiale, la baisse de la fécondité et l'augmentation de l'espérance de vie, a entraîné une augmentation continue du nombre de personnes âgées dans les pays industrialisés depuis environ un demi-siècle. En France, les données de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) issues du dernier recensement de la population, réalisé lors de l'année 2014, indiquent que 18% des Français étaient âgés de 65 ans et plus à la date du 1er Janvier 2015[1]. Les projections démographiques de l'Insee prévoient qu'en 2060, presque un tiers de la population française (27%) sera âgée de 65 ans et plus (Blanpain & Chardon, 2010), proportion similaire à celle rapportée par l'Organisation de Coopération et de Développements Economiques (OCDE), qui mentionne qu'un quart de la population de ses pays membres sera âgé de 65 ans et plus d'ici à 2050 (OCDE, 2012).

La proportion de conducteurs âgés impliqués dans les accidents de la route a été étudiée dans de nombreux travaux, tels que ceux croisant les données issues de l'Enquête Nationale des Transports et Déplacements de 2007-2008 (ENTD, 2007) avec les données des Bulletins d'Analyse d'Accidents Corporels (BAAC, 2007). Les auteurs de ces travaux ont constaté, en rapportant le nombre d'accidents par classe d'âge au nombre de titulaires du permis de conduire de cette même classe d'âge (Figure 1), que les conducteurs seniors (âgés de plus de 65 ans) étaient moins impliqués dans des accidents de la route que les conducteurs jeunes (appartenant à la classe des 18-24 ans ; Fabrigoule & Lafont, 2015). En revanche, les conducteurs seniors présentaient un risque d'accident plus élevé, en rapportant le nombre d'accidents de la route au nombre de kilomètres parcourus (Figure 2). Les conducteurs seniors, étant physiquement plus fragiles et plus vulnérables que les jeunes, ont un risque plus important de blessure grave et de décès lors d'accidents de la route (Lafont & Laumon, 2003) ; ces mêmes risques étant plus importants pour eux-mêmes que pour les autres (Lafont et al., 2010 ; Lafont, Laumon, Helmer, Dartigues, & Fabrigoule, 2008 ; Skyving, Berg, & Laflamme, 2009). Cependant, au niveau international, depuis quelques dizaines d'années, le nombre d'accidents mortels des conducteurs âgés de 70 ans et plus, rapporté au nombre de kilomètres parcourus, semble diminuer (Cheung & McCartt, 2011 ; Cicchino, 2015 ; Macinko, Silver, & Bae, 2015).

[1] Données disponibles sur le site internet http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?ref_id=bilan-demo

Figure 1. Incidence d'implication des conducteurs de véhicules légers dans un accident corporel, taux pour 10000 titulaires du permis de conduire (figure tirée de Fabrigoule & Lafont, 2015)

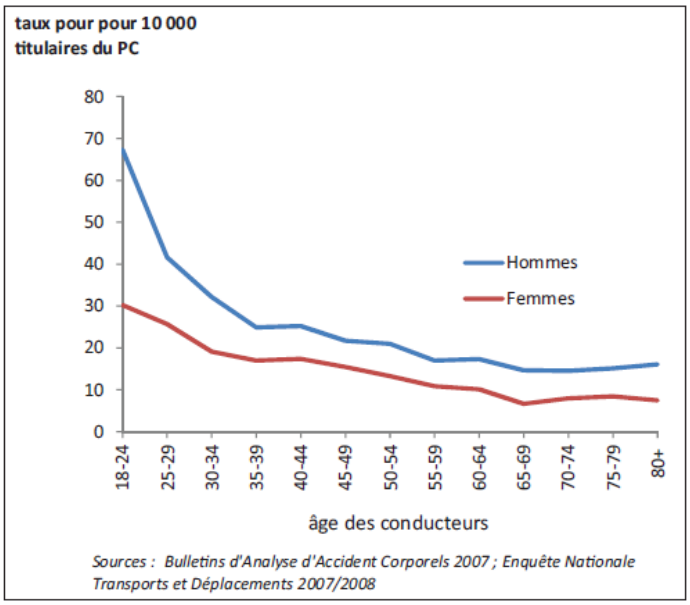
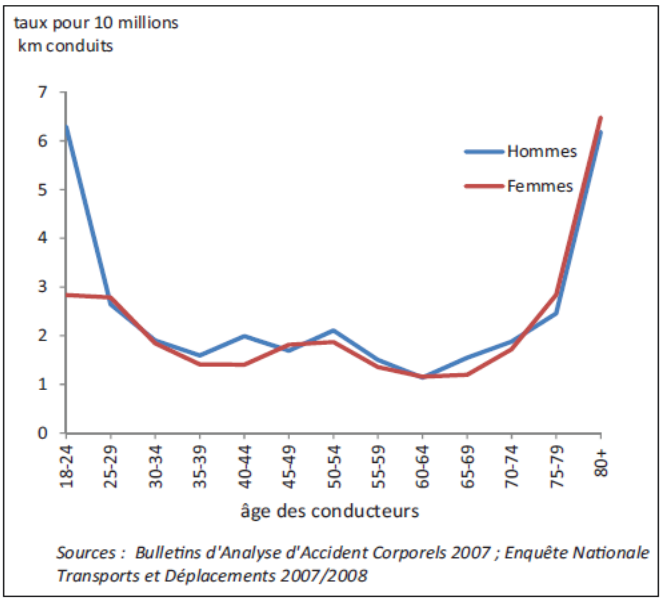


Figure 2. Implication des conducteurs de véhicules légers dans un accident corporel, taux pour 10 millions de km conduits (figure tirée de Fabrigoule & Lafont, 2015)



Les auteurs de ces travaux ont décrit deux types de facteurs pouvant expliquer cette baisse : i) des facteurs propres aux individus, tels qu'un changement dans leurs habitudes de déplacement, avec la mise en place de stratégies d'autorégulation de la conduite (par exemple, l'évitement de situations difficiles) ; ou encore l'amélioration de leur état de santé, avec par exemple, une meilleure qualité des soins apportés aux personnes présentant une

baisse de leurs capacités visuelles ; et ii) des facteurs externes aux individus, tels que l'amélioration des infrastructures routières ou de la sécurité des véhicules (avec par exemple, la présence d'airbags), ou encore des campagnes de prévention routière portant, par exemple, sur l'importance du port de la ceinture de sécurité ou sur les dangers de l'alcool au volant. Cette diminution des accidents mortels chez les conducteurs seniors révèle que les accidents ne sont pas une fatalité et invite à poursuivre les recherches afin d'identifier d'autres leviers sur lesquels agir afin de réduire encore davantage ces accidents dans les prochaines années. La voiture personnelle est le moyen de transport le plus utilisé par les individus (OCDE, 2001) et privilégié des personnes âgées de plus de 65 ans, par rapport aux aux transports en commun (Brouwer & Ponds, 1994 ; D'Ambrosio, Donorfio, Coughlin, Mohyde, & Meyer, 2008). Pour la majorité des conducteurs seniors, la conduite automobile n'est pas seulement un moyen de se déplacer, c'est avant tout une activité essentielle à leur mode de vie, synonyme d'indépendance, de maintien de l'autonomie, de socialisation et d'estime de soi (Adler & Rottunda, 2006 ; Donorfio, Mohyde, & D'Ambrosio, 2008 ; Eisenhandler, 1990 ; Messinger-Rapport, 2003 ; Yassuda, Wilson, & Mering, 1997). Afin de pouvoir continuer à conduire le plus longtemps possible, la plupart des seniors mettent en place des stratégies d'autorégulation en modifiant leur comportement au volant ou leurs habitudes de conduite (par exemple : Baldock, Mathias, McLean, & Berndt, 2006 ; Ball et al., 1998 ; Blanchard & Myers, 2010 ; Charlton et al., 2006 ; Donorfio, Mohyde, et al., 2008 ; Molnar, Eby, Roberts, St Louis, & Langford, 2009 ; Stalvey & Owsley, 2003). Néanmoins, quand vient le moment de décider s'ils doivent ou non continuer à conduire, les seniors se retrouvent face à un manque d'information pouvant les mener à ne pas prendre la décision optimale. L'arrêt de la conduite est la stratégie d'autorégulation ultime. Etape importante dans la vie des seniors, elle peut avoir des conséquences négatives tant sur le plan de la qualité de vie (avec la perte d'autonomie et d'indépendance ; Adler & Rottunda, 2006 ; Marottoli et al., 2000 ; Webber, Porter, & Menec, 2010 ; Yassuda et al., 1997), que sur le plan de la santé (avec une augmentation du risque de dépression et une orientation vers un vieillissement pathologique ; Boot, Stothart, & Charness, 2014 ; Edwards, Lunsman, Perkins, Rebok, & Roth, 2009 ; Fonda, Wallace, & Herzog, 2001 ; Ragland, Satariano, & MacLeod, 2005). Par conséquent, maintenir la mobilité des seniors est essentielle pour leur permettre de conserver des activités en dehors de leur domicile (Siren, Hjorthol, & Levin, 2015) favorisant leur participation sociale, la réduction de l'isolement social (Mackett, 2015) et, par là même, le vieillissement actif (Fernández-Ballesteros, Robine, Walker, & Kalache, 2013). A l'inverse, les conducteurs qui maintiennent leur activité de conduite alors qu'ils ne devraient pas prennent des risques sur la route. De travaux ont montré que les seniors étaient plus à même de reconnaitre être fatigués ou avoir des problèmes visuels, plutôt que de reconnaitre présenter un

ralentissement cognitif, par exemple (Berry, 2011). Afin que le plus grand nombre de conducteurs seniors mette en place des stratégies d'autorégulation efficaces, leur permettant de maintenir leur activité de conduite dans des conditions sûres, il est primordial de les aider à prévenir le déclin cognitif lié à l'âge grâce à un entraînement cognitif (par exemple, Bherer, 2015) et à prendre conscience de leurs capacités, levier principal du changement de comportement (Hassan, King, & Watt, 2015). Ce travail de thèse repose sur le constat que certains conducteurs ne sont pas en mesure d'adopter spontanément des stratégies de régulation adaptées (Baldock, Thompson, & Mathias, 2008 ; MacDonald, Myers, & Blanchard, 2008 ; Wong, Smith, & Sullivan, 2012). De plus, de nombreuses formations à la conduite, proposées aux conducteurs seniors, ont montré une efficacité limitée pour améliorer leur mobilité et la sécurité des seniors (Korner-Bitensky, Kua, von Zweck, & Van Benthem, 2009 ; Kua, Korner-Bitensky, Desrosiers, Man-Son-Hing, & Marshall, 2007). Ces formations à la conduite ne ciblent peut-être pas les bons objectifs et ne prennent pas suffisamment en compte la manière dont les conducteurs perçoivent leurs propres capacités. Des pistes d'interventions dédiées aux conducteurs présentant un biais de calibration de la cognition sont explorées dans cette thèse.

Cette thèse s'inscrit dans un projet franco-suédois, financé par l'Agence Nationale pour la Recherche, pour le versant français. Ce travail de recherche, ayant impliqué une quinzaine de chercheurs, appelé « SAFE MOVE for older drivers », comporte trois volets. Le **premier volet** a consisté en l'élaboration d'une cohorte de conducteurs seniors âgés de 70 et plus dans les départements du Rhône et du Calvados. Au sein de cette cohorte, les conducteurs ont été distingués en fonction de la manière dont ils percevaient leurs capacités cognitives, c'est-à-dire, en fonction de la calibration de leur cognition, ceux présentant une calibration erronée (les sur-estimateurs et les sous-estimateurs), et ceux présentant une calibration correcte (les estimateurs corrects). Le **second volet** a consisté en l'élaboration, la réalisation et l'évaluation d'un programme d'entraînement cognitif associé ou non à une immersion de conduite sur simulateur, destiné à ces conducteurs présentant un biais de calibration de la cognition. C'est ce second volet qui sera détaillé dans la suite de cette thèse. Enfin, le **troisième volet** a consisté à identifier les besoins particuliers des conducteurs seniors en termes de systèmes d'aide à la conduite et à caractériser et concevoir, d'une part, des dispositifs chargés de superviser l'activité des conducteurs et, d'autre part, des dispositifs d'assistance à la conduite en fonction des besoins identifiés pour cette population.

Ce travail de thèse, qui s'inscrit dans le second volet du projet SAFE MOVE débutera par la présentation du cadre théorique comprenant sept chapitres. Puis, deux parties expérimentales seront décrites. La première partie vise à déterminer les effets d'un

entraînement cognitif informatisé associé ou non à une immersion de conduite sur simulateur, comparativement à une activité contrôle, sur : i) les performances cognitives, ii) la calibration des capacités cognitives, iii) les performances de conduite sur route et iv) le bien-être subjectif des conducteurs seniors. Ces quatre sous-parties feront l'objet de quatre chapitres, appelés « focus » dans la suite du document. La seconde partie expérimentale vise à évaluer l'efficacité de la stimulation galvanique cutanée de la nuque sur la réduction des symptômes associés au mal du simulateur, d'une part, chez les jeunes conducteurs (Etude 1) et, d'autre part, chez les conducteurs seniors (Etude 2). La synthèse des principaux résultats et leur interprétation sera réalisée dans une partie consacrée à la discussion générale. Enfin, des recommandations sur le contenu des formations à la conduite destinées aux seniors seront formulées et des perspectives de recherches seront présentées.

CADRE THEORIQUE

Sept chapitres sont présentés dans ce cadre théorique. Dans le premier chapitre, la notion de « vieillissement » est dépeinte au travers de trois théories fonctionnalistes, puis, une nouvelle conceptualisation du vieillissement, appelée « vieillissement réussi » ou « bien vieillir » y est détaillée. Dans le second chapitre, la notion de « vieillissement cognitif » est plus spécifiquement abordée et un modèle théorique récent du vieillissement cognitif est présenté. Dans le troisième chapitre, l'activité de conduite automobile est définie et les conséquences du vieillissement sur la réalisation de cette activité sont décrites. Quatre modèles théoriques relatifs à la conduite automobile y sont également présentés. Dans le quatrième chapitre, les différentes stratégies d'autorégulation du comportement au volant mises en place par certains conducteurs seniors sont présentées et les différents facteurs influençant cette autorégulation sont décrits. Dans le cinquième chapitre, trois modèles théoriques du changement de comportement des conducteurs sont présentés. Leurs forces et leurs limites sont également discutées. Le sixième chapitre consiste en un état de l'art de différents types d'interventions destinés aux conducteurs seniors. Enfin, le septième et dernier chapitre présente les forces et les faiblesses d'un outil de réalité virtuelle utilisé dans le cadre de recherches sur la conduite automobile : le simulateur de conduite.

I. Un vieillissement ou des vieillissements ?

Le vieillissement est défini par « l'ensemble des phénomènes qui marquent l'évolution d'un organisme vivant vers la mort » et correspond à « un affaiblissement naturel des facultés physiques et psychiques dû à l'âge » (Dictionnaire Larousse en ligne, 2015). L'avancée en âge provoque toutes sortes de changements ayant des répercussions physiques sur l'individu (changements anatomiques, psychologiques, ou encore physiologiques ; Lemaire & Bherer, 2005). De plus, le vieillissement entraîne également un changement de statut de l'individu au sein de la société : la personne active devient une personne retraitée, son rôle dans la société n'est donc plus le même. Dans ce premier chapitre, le vieillissement sera abordé d'un point de vue social. Différentes théories apparues depuis le milieu du XX^{ème} siècle seront exposées. Ensuite, un nouveau concept de vieillissement ayant émergé depuis une vingtaine d'années sera présenté : celui du « bien vieillir ».

I.1 Les théories fonctionnalistes du vieillissement

Depuis le milieu des années 50, plusieurs théories psychosociales du vieillissement ont été proposées afin de non seulement décrire, mais également expliquer comment l'individu s'adapte au vieillissement dans son environnement social (Alaphilippe & Bailly, 2013).

I.1.1 La théorie de l'activité

Au début des années 50, la **théorie de l'activité** prône que la réussite du vieillissement est proportionnelle à la quantité des activités exercées par la personne âgée une fois qu'elle est à la retraite (Havighurst & Albrecht, 1953). S'engager dans de nouvelles activités permet aux personnes âgées d'avoir un nouveau rôle à jouer dans la société, d'avoir ainsi une bonne estime d'eux-mêmes, et contribue également à maintenir leur état de santé. Cependant, cette théorie présente quelques limites. En effet, elle s'applique essentiellement aux personnes âgées les plus jeunes et aisées et tend à ne pas considérer les personnes les plus âgées, ni celles ayant de faibles revenus. L'état de santé diminuant avec l'avancée en âge, les personnes les plus âgées ne peuvent pas avoir autant d'activités que les personnes âgées plus jeunes, car elles peuvent en être moins capables physiquement ou cognitivement. De plus, la participation à des activités peut entraîner toutes sortes de frais (relatifs, par exemple, au déplacement, àl'inscription ou à l'achat du matériel), et les personnes âgées ayant de faibles revenus se trouvent limitées dans le choix et le nombre des activités qu'elles peuvent réaliser. Enfin, cette théorie, en considérant surtout la quantité des activités menées par les seniors, ne prend pas en compte leur qualité.

I.1.2 La théorie du désengagement

En 1961, Cumming et Henry présentent la théorie **du désengagement,** qui repose sur l'idée d'un « éloignement réciproque » entre la personne vieillissante et les individus de la société dans laquelle elle vit. Les auteurs décrivent un système dans lequel, d'une part, la personne âgée s'isole et réduit ses échanges sociaux avec les autres et où, d'autre part, la société attribue un autre rôle à la personne âgée et a tendance à l'isoler. Ainsi, la personne qui était considérée jusqu'ici comme un travailleur actif, devient une personne vieillissante, à la retraite. Naturellement, la personne âgée se retrouve ainsi davantage centrée sur elle-même et moins tournée vers les autres qu'auparavant. Cette sorte de désocialisation, d'exclusion sociale, est présentée comme une condition nécessaire au « bien vieillir ». Populaire dans les années 60-70, cette théorie du désengagement est aujourd'hui laissée de coté car elle a donné lieu à certaines questions restées sans réponse, comme par exemple, qui amorce le processus de désengagement ? Est-ce la personne âgée qui le fait d'elle-même ou bien est-ce la société ? (Achenbaum & Bengtson, 1994). En outre, cette théorie édifiée dans les années 60 décrivait une situation pour les seniors bien différente de la situation actuelle, en particulier avec des seniors plus actifs aujourd'hui qu'ils ne l'étaient il y a 50 ans et qui participent plus intensivement à la vie sociale.

I.1.3 La théorie de la continuité

La **théorie de la continuité** formulée par Robert Atchley a vu le jour en 1989. Elle se différencie des deux théories précédentes car elle ne fait pas état d'une rupture dans la vie de la personne âgée au moment de la retraite. Selon cette théorie, le bien-être et l'estime de soi de la personne âgée ne seraient pas liés à la quantité d'activités réalisées mais plus à la capacité à maintenir un certain mode de fonctionnement. La personne âgée tente ainsi de maintenir ses activités et son engagement social grâce à des stratégies d'adaptation et se sert de ses expériences passées pour résoudre les difficultés rencontrées. Ainsi, cette théorie souligne le fait qu'il n'y a pas qu'une seule façon de vieillir, mais que tous les individus ont une manière de vieillir qui leur est propre.

I.1.4 Conclusion

Ces trois théories ont tenté de décrire le comportement social de l'individu vieillissant dans son environnement, son adaptation à sa nouvelle identité de « personne âgée », et la manière dont il essaye de conserver un certain équilibre et un certain bien-être. Cependant, ces théories présentent des limites car elles ne prennent pas en compte l'influence de facteurs physiques ou cognitifs dans l'adaptation de l'individu à son changement de statut.

I.2 Vers une nouvelle conceptualisation du vieillissement

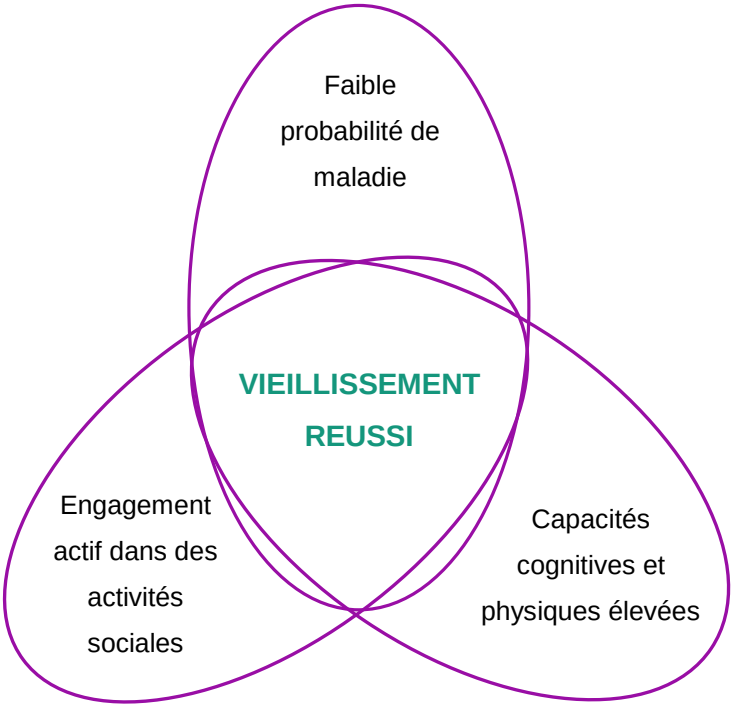
Apparu à la fin du XXème siècle, le vocabulaire utilisé pour caractériser le vieillissement reflète une vision positive de l'avancée en âge (Fernández-Ballesteros, 2008). Parmi les qualificatifs associés au vieillissement se trouvent les termes de « réussi », « actif », « productif », « optimal », ou encore « positif », et la notion de « bien vieillir » a également émergé. Dans cette partie I.2, les notions de « vieillissement réussi », « vieillissement actif » et de « bien vieillir » seront décrites, afin de mieux comprendre ces nouveaux concepts associés au vieillissement.

I.2.1 Le « vieillissement réussi »

Parmi les pionniers dans le développement de ce nouveau paradigme du vieillissement actif, Rowe et Kahn (1987) ont différencié le vieillissement usuel (« usual aging ») du vieillissement réussi. Le **vieillissement usuel** fait référence aux personnes âgées ne présentant pas de pathologies particulières, mais qui ont un risque élevé d'en avoir. Le **vieillissement réussi** fait, quant à lui, référence aux personnes âgées ayant un faible risque de tomber malade et ayant des capacités cognitives et physiques élevées.

Plus précisément, le vieillissement réussi repose sur la combinaison de trois éléments : i) une faible probabilité de maladie, ii) des capacités fonctionnelles cognitives et physiques élevées, et iii) un engagement actif dans des activités sociales. Ces trois éléments sont étroitement liés les uns avec les autres et une structure hiérarchique existe entre eux (voir Figure 3). La **faible probabilité de maladie** ne fait pas seulement référence à la présence ou à l'absence de maladie, elle renvoie également aux facteurs de risque de développer une maladie. Les **capacités fonctionnelles élevées** comprennent à la fois les capacités **cognitives** et **physiques** et sont des prérequis à l'activité de l'individu. Elles informent sur ce qu'une personne *est capable de faire* et non sur ce qu'une personne *fait effectivement*. Le vieillissement réussi va plus loin que ce que l'individu est capable de faire. La notion d'**activité** fait ici référence au regroupement de deux éléments : les relations sociales (c'est-à-dire, les contacts et les échanges avec les autres individus de la société) et les activités dites productives (c'est-à-dire, les activités qui créent une valeur aux divers aspects de la vie sociale de l'individu).

Figure 3. Modèle du vieillissement réussi, adapté de Rowe et Kahn, 1997



I.2.2 Le « vieillissement actif »

Le vieillissement actif a été défini en 2002 par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme étant « le processus d'optimisation des possibilités pour la santé, la participation sociale et la sécurité, dans le but d'améliorer la qualité de vie et le bien-être des personnes vieillissantes ». L'OMS énonce les déterminants du vieillissement actif, sur

le plan de la population, que sont des facteurs économiques et sociaux, environnementaux, relatifs aux services sanitaires et sociaux, et au comportement de l'individu. Le vieillissement actif, concept multidimensionnel reposant sur une vision positive du vieillissement appelée « bien vieillir », renvoie à un processus d'adaptation des individus tout au long de leur vie permettant un vieillissement en bonne santé, réussi, et productif sur le plan social (Fernández-Ballesteros et al., 2013). Bien qu'il n'y ait pas de définition empirique du vieillissement actif, un consensus regroupant plusieurs notions existe cependant : une faible probabilité de maladie, une bonne aptitude physique, un fonctionnement cognitif élevé, un esprit positif, une bonne gestion du stress et une participation à la vie sociale (Fernández-Ballesteros, 2008 ; Fernández-Ballesteros et al., 2013). Afin de mieux appréhender ce concept de vieillissement actif, ses différentes dimensions et caractéristiques seront détaillées dans les parties suivantes.

I.2.3 Le « bien vieillir »

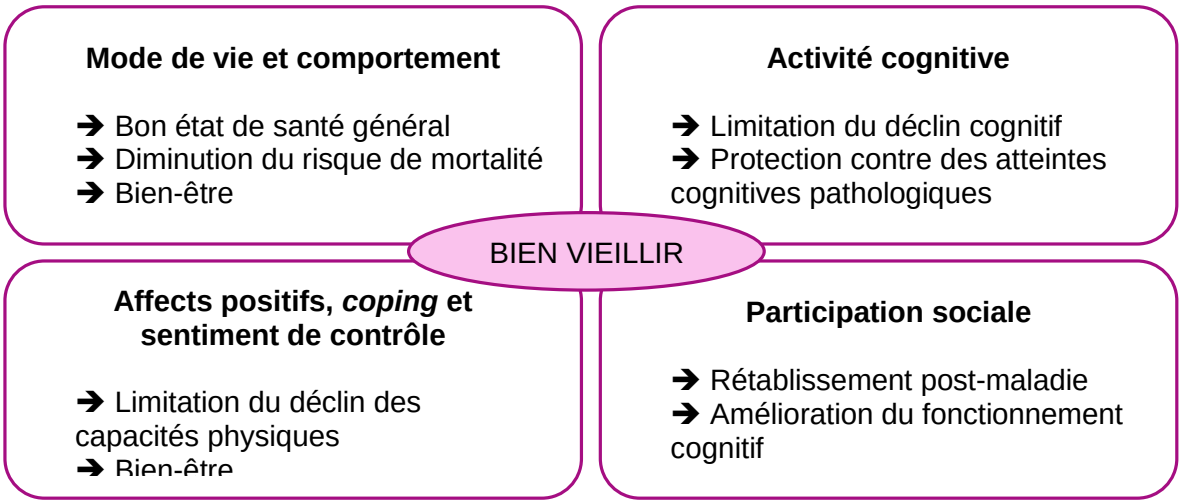
La notion de « bien vieillir » est associée à celle de « bien-être » et fait référence à différents concepts, sous-tendus par de nombreuses théories (Alaphilippe & Bailly, 2013). Le bien-être renvoie à la satisfaction de vie et à la qualité de vie (estimation par rapport à un idéal), aux affects (positifs et/ou négatifs), au moral et au bonheur (Alaphilippe & Bailly, 2013 ; Diener, 2012). Différentes théories du « bien vieillir » mettent en avant l'existence des capacités d'adaptation des seniors et soulignent leur capacité à faire face à toute sorte d'événements négatifs pouvant altérer leur bien-être (ex : détérioration de l'état de santé, décès d'un proche, *etc.*). La capacité à revoir les objectifs fixés à la baisse et à accepter les pertes et les changements permet de maintenir un certain niveau de bien-être (Alaphilippe & Bailly, 2013).

I.2.3.1 *Le modèle quadripartite du « bien vieillir »*

En 2008, un modèle du « bien vieillir » à quatre composantes a été proposé par Fernández-Ballesteros. Un résumé en est présenté Figure 4 (pour plus de détails, se référer aux publications de Caprara et al., 2013 et Fernández-Ballesteros, 2008). La première composante de ce modèle renvoie au **mode de vie** et au **comportement**. Avoir une bonne hygiène de vie (ne pas fumer ni boire trop d'alcool), pratiquer une activité physique régulière et avoir une alimentation équilibrée, sont autant d'éléments favorables à un meilleur état de santé général, à une diminution du risque de mortalité, et au bien-être. La seconde composante de ce modèle renvoie à l'**activité cognitive**. Cette dernière permet de limiter le déclin cognitif lié à l'âge et semble être un facteur de protection contre la démence. Un entraînement cognitif efficace peut optimiser le fonctionnement cognitif, compenser un

certain déclin cognitif et, voire même, pallier une atteinte cognitive plus grave (pathologique). La troisième composante de ce modèle renvoie aux **affects positifs**, au ***coping*** et au **sentiment de contrôle**. Le concept de « *coping* », défini en 1978 par Lazarus et Launier désigne « l'ensemble des processus qu'un individu interpose entre lui et l'événement perçu comme menaçant, pour maîtriser, tolérer ou diminuer l'impact de celui-ci sur son bien-être physique et psychologique, de sorte que la représentation du stress se modifie » (traduction issue de Piquemal-Vieu, 2001, page 88). Ce concept fait ainsi référence à la capacité à faire face à un événement de vie stressant, par le biais de stratégies d'adaptation. L'adoption d'une attitude positive face aux événements de vie permet de réduire la fragilité des seniors et a un effet protecteur contre le déclin de certaines capacités, notamment physiques. Le *coping* est stable tout au long de la vie et peut être entraîné (par exemple : maintien de la santé physique, augmentation des performances cognitives, développement personnel et maitrise de soi, Blazer, 2002). Le sentiment de contrôle est un puissant facteur psychosocial qui influence le bien-être des individus. C'est un bon prédicteur d'un vieillissement en bonne santé et actif et il peut également être entraîné. Les croyances d'auto-efficacité sont fortement liées au vieillissement réussi, car elles permettent, d'une part, de percevoir des situations difficiles comme des défis et non comme des menaces ; et, d'autre part, elles poussent les individus à être déterminés à atteindre leurs objectifs (Easom, 2003). L'auto-efficacité jouerait un rôle dans le maintien des fonctions cognitives des personnes âgées (Lachman & Leff, 1989 ; Lachman, Weaver, Bandura, Elliot, & Lewkowicz, 1992). Le concept d'auto-efficacité s'inscrit dans la théorie sociale-cognitive développée par Albert Bandura dans les années 80 et se définit comme étant « la croyance des individus en leurs capacités à réussir à organiser et et exécuter un cours d'actions » (Bandura, 1977, traduction libre). Enfin, la quatrième composante de ce modèle renvoie à la **participation sociale**. Les personnes ayant de nombreuses relations sociales se rétablissaient mieux que les autres à la suite d'une une maladie. De plus, la participation sociale améliore le fonctionnement cognitif. Ce dernier point démontre bien que la théorie du désengagement (Cumming & Henry, 1961) n'est plus valide aujourd'hui et que l'intégration des seniors dans la société et le maintien des relations avec les autres sont des éléments primordiaux au bien vieillir.

Figure 4. Modèle quadripartite du « bien vieillir », d'après Fernández-Ballesteros, 2008 et Caprara et al., 2013



I.2.3.2 *Le rôle de la mobilité dans le « bien vieillir »*

Puisqu'elle leur permet de continuer leur vie de manière dynamique et indépendante (OMS, 2007), de maintenir leur état de santé physique et psychologique (Groessl et al., 2007 ; Yeom, Fleury, & Keller, 2008) ainsi que leur participation sociale (Webber et al., 2010), la mobilité est un élément essentiel au « bien vieillir » et à la qualité de vie des seniors. En 2010, Webber et collaborateurs ont proposé un cadre théorique afin d'identifier les déterminants de la mobilité de la personne âgée et de mieux comprendre leurs interrelations. Dans cette section, la mobilité sera définie comme étant la capacité à se déplacer dans son environnement, en utilisant, ou non, des moyens de transport ou des aides au déplacement (Webber et al., 2010).

En 2002, l'OMS a montré que plusieurs facteurs influençaient la mobilité des individus, tels que le sexe, le milieu social, la culture, et les expériences de vie. Par exemple, les femmes âgées ont tendance à davantage réduire leurs déplacements que les hommes du même âge. En 2010, Webber et collaborateurs ont identifié d'autres déterminants à la mobilité, d'ordres perceptivo-cognitifs, psychosociaux, physiques, environnementaux et financiers. Les déterminants perceptivo-cognitifs regroupent l'état mental, la mémoire, la vitesse de traitement et le fonctionnement exécutif ; alors que les déterminants psychosociaux renvoient davantage à l'auto-efficacité, au *coping*, au comportement, aux émotions, et aux relations sociales qui influent sur l'intérêt et la motivation à être mobile. Certains de ces déterminants sont liés entre eux. Concernant les déterminants perceptivo-cognitifs, par exemple, un individu qui présente un déclin des capacités visuelles lié à l'âge ou une diminution de sa vitesse de traitement de l'information, aura des difficultés à se déplacer dans certains environnements, et ce déplacement pourra

même s'avérer dangereux dans certaines circonstances. L'interrelation entre ces différents déterminants de la mobilité implique qu'un changement dans l'une de ces dimensions ait également des répercussions dans d'autres. Concernant les déterminants financiers, une étude a montré que de faibles revenus étaient associés à un plus grand risque d'incapacité à se déplacer (Shumway-Cook, Ciol, Yorkston, Hoffman, & Chan, 2005). Ces déterminants financiers peuvent être en relation avec des déterminants psychosociaux (par exemple, le maintien de relations sociales), physiques (par exemple, le fait de pouvoir aller à la salle de sport) et environnementaux (par exemple : le fait que le niveau revenu soit un facteur primordial dans le choix du type de logement et de sa localisation). Ainsi, toutes ces données montrent que le maintien de la mobilité est multifactoriel. Plusieurs études ont mis en évidence que les seniors réduisaient leur activité de marche et de conduite à cause de difficultés cognitives, psychosociales, physiques, environnementales ou financières, justifiant l'inclusion de ces déterminants dans le modèle de la mobilité (Rudman, Friedland, Chipman, & Sciortino, 2006 ; Shumway-Cook et al., 2003, 2005 ; Webber et al., 2010).

I.3 Conclusion

Tel que cela a été illustré tout au long de ce chapitre, la notion de vieillissement a bien évolué depuis le siècle dernier. Différents facteurs sociaux, physiques, cognitifs associés au « bien vieillir » ont pu être identifiés. Après avoir présenté ce nouveau concept du vieillissement actif, les prochains chapitres viseront à décrire plus particulièrement le vieillissement cognitif et ses conséquences sur les activités de l'individu et, plus particulièrement, sur l'activité de conduite automobile.

II. Vieillissement normal et cognition

II.1 Définitions de la notion de « vieillissement »

Le vieillissement normal regroupe l'ensemble des processus physiologiques et psychologiques qui accompagne l'avancée en âge et qui modifie la structure et les fonctions de l'organisme. Il résulte des effets combinés de facteurs génétiques, biologiques, propres à l'individu et de facteurs extérieurs, environnementaux, auxquels est soumis l'organisme tout au long de sa vie. Le vieillissement s'accompagne d'une diminution des réserves fonctionnelles de l'organisme qui est variable d'un individu à l'autre.

Le vieillissement cérébral entraîne des changements à la fois anatomiques et physiologiques/fonctionnels. Au niveau neuro-anatomique, il se caractérise principalement par une diminution du poids du cerveau à la suite d'une perte neuronale, qui n'est pas uniforme puisque certaines zones corticales et sous corticales sont plus touchées que d'autres (par exemple : le cortex frontal et hippocampique), et par une diminution de l'arborisation dendritique. Au niveau neurophysiologique, il se caractérise par des modifications neurochimiques entraînant l'altération de la communication entre les différentes cellules du système nerveux central (Ordy & Kaack, 1975 ; Samorajski, 1977). Tous ces changements accompagnent le vieillissement cognitif, c'est-à-dire, l'évolution des capacités intellectuelles et cognitives de l'individu au cours du temps (Lemaire & Bherer, 2005).

II.2 Vieillissement cognitif normal

Le vieillissement cognitif normal se caractérise par des atteintes structurales et fonctionnelles légères et étrangères de toute pathologie. Il peut entraîner une diminution des capacités cognitives de l'individu (telles que la vitesse de traitement de l'information ou les capacités attentionnelles, par exemple) associée à une baisse de ses performances (telles qu'une augmentation de la vitesse de traitement de l'information ou une diminution des capacités d'attention soutenue, par exemple). Toutefois, les performances de l'individu restent situées dans la norme par rapport aux personnes du même âge et ayant le même niveau d'éducation, attestant du caractère « normal » et non « pathologique » de ces changements.

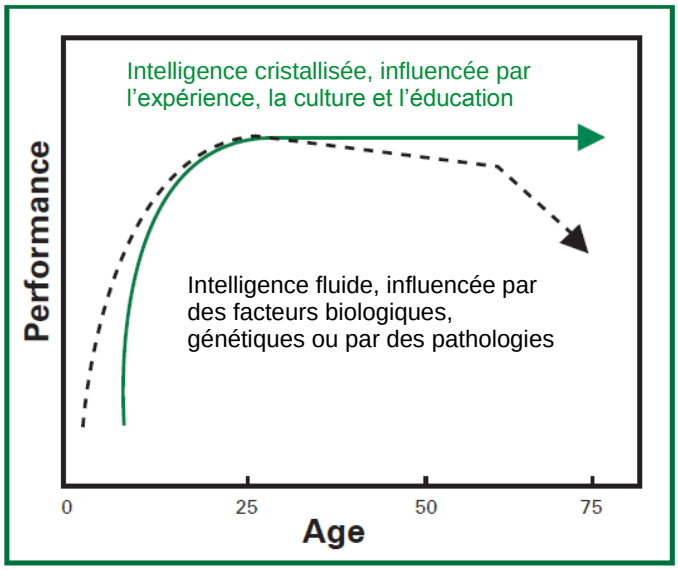
II.2.1 Déclin cognitif

Le déclin cognitif correspond à l'affaiblissement normal des fonctions cognitives avec l'avancée en âge. Il touche tous les individus, mais il existe une grande variabilité

interindividuelle (Schaie, 1989). En effet, certains individus connaissent un vieillissement plus important, plus précoce ou plus rapide que d'autres. Des individus du même âge peuvent présenter des capacités cognitives différentes, en fonction de leur niveau d'éducation, de leur style de vie (statut marital, environnement intellectuel après 60 ans), de leur niveau d'expertise, de la profession exercée, de leur état de santé, ou encore de leurs traits de personnalité (Lemaire & Bherer, 2005).

Le déclin cognitif commence très précocement dans la vie de l'individu puisque dès 30 ans certaines capacités tendent à décliner. Ce déclin est continu et évolutif tout au long de la vie. L'évolution des capacités intellectuelles avec l'âge, telles que l'intelligence fluide et l'intelligence cristallisée (Horn & Cattell, 1967), a été largement étudiée. L'intelligence fluide correspond aux capacités dites « non verbales » et fait référence au raisonnement logico-mathématique et à la résolution de problème. Elle permet à l'individu de répondre rapidement à une tache nouvelle indépendamment de l'acquisition de connaissances et est le reflet d'une composante biologique de l'intelligence. A l'inverse, l'intelligence cristallisée, qui correspond aux capacités dites « verbales », reflète la capacité à utiliser ses compétences, ses connaissances acquises et son expérience. Elle fait appel au langage et aux expériences de vie et se fonde sur l'accès aux informations de la mémoire à long terme. Elle est le reflet d'une composante culturelle de l'intelligence (Lecerf, Ribaupierre, Fagot, & Dirk, 2007). Toutefois, comme l'illustre la Figure 5. Représentation des changements de l'intelligence fluide et de l'intelligence cristallisée avec l'âge, d'après Anstey et al., 2004, le déclin cognitif n'est pas homogène et certaines capacités, telles que le langage, les connaissances générales et, plus globalement, l'intelligence cristallisée, semblent se maintenir, et même, continuent de s'améliorer avec le temps, grâce à l'expérience acquise par l'individu (Anstey & Low, 2004 ; Lövdén & Lindenberger, 2005 ; Park & Reuter-Lorenz, 2009).

Figure 5. Représentation des changements de l'intelligence fluide et de l'intelligence cristallisée avec l'âge, d'après Anstey et al., 2004



Le déclin cognitif touche de nombreuses capacités cognitives telles que la vitesse de traitement de l'information, les capacités attentionnelles, les capacités mnésiques, la mémoire de travail, ou encore les fonctions exécutives (Craik & Salthouse, 2000 ; Lemaire & Bherer, 2005).

- Une diminution de la **vitesse de traitement** avec l'âge apparait être à l'origine d'un ralentissement cognitif entraînant une diminution des performances cognitives, et ce, proportionnellement à la complexité de la tâche (Salthouse, 1996 ; Vance, Heaton, Fazeli, & Ackerman, 2010).

- Le déclin des **capacités attentionnelles** (c'est-à-dire de l'attention sélective, divisée, ou soutenue) avec l'âge peut également avoir des conséquences sur la réalisation de certaines tâches de la vie quotidienne. Par exemple, une diminution de l'attention soutenue entraîne des difficultés à rester concentré sur une longue période, une diminution de l'attention sélective est associée à une plus grande distractibilité par des informations non pertinentes, et enfin, une diminution de l'attention divisée entraîne des difficultés à traiter des informations en parallèle (McDowd & Shaw, 2000 ; Verhaeghen & Cerella, 2002).

- La diminution des **performances mnésiques** avec l'âge serait surtout due à des troubles de l'encodage de l'information (Giffard, Desgranges, & Eustache, 2001). De plus, il semblerait que les stratégies de récupération de l'information ne soient pas les mêmes chez les jeunes et chez les seniors (Claverie, N'Kaoua, & Sauzéon, 1999). Ces élements indiquent que le vieillissement entraîne une diminution des capacités mnésiques, toutefois, toutes les mémoires ne sont pas touchées de la même façon. En

effet, le vieillissement a un effet sur la mémoire explicite (c'est-à-dire la mémoire déclarative, épisodique, autobiographique ou sémantique), mais pas sur la mémoire implicite (c'est-à-dire la mémoire procédurale). De plus, au sein de la mémoire explicite, la mémoire épisodique semble être plus atteinte que la mémoire autobiographique (Guillaume, Guillery-Girard, Eustache, & Desgranges, 2009 ; Lemaire & Bherer, 2005). Concernant la mémoire prospective, elle est affectée par l'âge si le niveau d'éducation de l'individu est faible et lorsque le nombre de tâches complexes est important ou si les tâches sont cognitivement coûteuses (Kalpouzos, Eustache, & Desgranges, 2008 ; Lemaire & Bherer, 2005 ; McDaniel & Einstein, 2011). Enfin, l'organisation des informations en mémoire à long terme semble stable avec l'âge (Giffard, Desgranges, Kerrouche, Piolino, & Eustache, 2003 ; Howard, Heisey, & Shaw, 1986).

- La **mémoire de travail** se caractérise par le stockage temporaire et le traitement de l'information et est impliquée dans de nombreuses tâches de la vie quotidienne. Des études ont montré que la diminution des capacités de la mémoire de travail avec l'âge causait une surcharge de celle-ci, en condition de double tâche par exemple, provoquant une diminution des performances cognitives (Collette & Salmon, 2014 ; Lemaire & Bherer, 2005).

- Pour finir, le vieillissement touche également les **fonctions exécutives**, fonctions cognitives de haut niveau intervenant lors de tâches complexes ou nouvelles et sous-tendues par les lobes frontaux (Miyake et al., 2000). Parmi les fonctions exécutives se distinguent l'élaboration et l'utilisation de stratégies lors de la résolution de problèmes, la planification, la flexibilité mentale, et l'inhibition. Avec l'âge, le nombre de stratégies élaborées diminue, de même que leur efficacité (Lemaire, 2010). Plus le problème est complexe, plus les stratégies pour le résoudre sont cognitivement coûteuses, et plus elles sont difficiles à mettre en place pour les personnes âgées (Lemaire & Bherer, 2005). D'autres études ont montré un effet du vieillissement sur la flexibilité (Wasylyshyn, Verhaeghen, & Sliwinski, 2011), ou encore sur les capacités d'inhibition (Diamond, 2013). Ainsi, des déficits de ces fonctions de haut niveau ont été mis en évidence avec l'avancée en âge. Néanmoins, les tests utilisés pour évaluer les fonctions exécutives étant complexes, ils peuvent faire appel à plusieurs fonctions en même temps (Sorel & Pennequin, 2008). Par conséquent, il est difficile de dire si le déclin touche l'ensemble des fonctions exécutives ou si certaines d'entre elles sont préservées (Collette & Salmon, 2014).

Pour conclure, les effets du vieillissement touchent de nombreuses fonctions cognitives. Toutefois, le déclin de ces fonctions n'est pas irrémédiable et dans les

prochaines parties seront présentées des contremesures qui pallient les effets négatifs du vieillissement sur la cognition.

II.2.2 Neuroplasticité et stimulation cognitive

La plasticité cérébrale est un processus multidimensionnel et multidirectionnel, propre à chaque individu, ayant lieu tout au long de sa vie, et qui reflète la capacité du système nerveux à modifier sa structure et sa fonction, dépendamment des différentes sollicitations reçues, de l'expérience et des conditions de vie (Baltes, 1987). Ce processus repose à la fois sur la plasticité synaptique, c'est-à-dire de la capacité du cerveau à modifier les connexions neuronales et à en créer de nouvelles, et également sur la neurogenèse, c'est-à-dire la différenciation de cellules souches neurales en neurones, puis la migration et la connexion de ces nouveaux neurones avec d'autres cellules dans le cerveau.

Depuis une trentaine d'années, l'idée de « plasticité cognitive » a suscité un intérêt majeur en gérontologie, afin de lutter contre le stéréotype selon lequel « les personnes âgées ne sont pas capables d'apprendre » (Cuddy, Norton, & Fiske, 2005 ; Fernández-Ballesteros et al., 2012). La plasticité cognitive reflète la capacité d'adaptation, secondaire à un changement (Lövdén, Bäckman, Lindenberger, Schaefer, & Schmiedek, 2010), et se définit comme la capacité de l'individu à améliorer ses performances cognitives à la suite d'un entraînement (Fernández-Ballesteros et al., 2012 ; Jones et al., 2006). La stimulation cognitive est un prédicteur important de l'amélioration et du maintien du fonctionnement cognitif, même à un âge avancé (Ball et al., 2002). En effet, de nombreuses études ont évalué l'efficacité de différents programmes d'entraînements et ont montré que les personnes âgées étaient capables d'améliorer leurs performances cognitives à la suite d'un entraînement cognitif, informatisé ou non (Gajewski & Falkenstein, 2012 ; Kelly et al., 2014 ; Kueider, Parisi, Gross, & Rebok, 2012 ; Lampit, Hallock, & Valenzuela, 2014 ; Lustig, Shah, Seidler, & Reuter-Lorenz, 2009 ; Martin, Clare, Altgassen, Cameron, & Zehnder, 2011 ; Smith et al., 2009 ; Vance et al., 2010). Par conséquent, du fait que le cerveau conserve une certaine plasticité avec l'âge, des interventions visant à entraîner les fonctions cognitives semblent être un bon moyen de maintenir ou renforcer les compétences cognitives des adultes âgés en bonne santé.

II.2.3 Apports de la neuro-imagerie

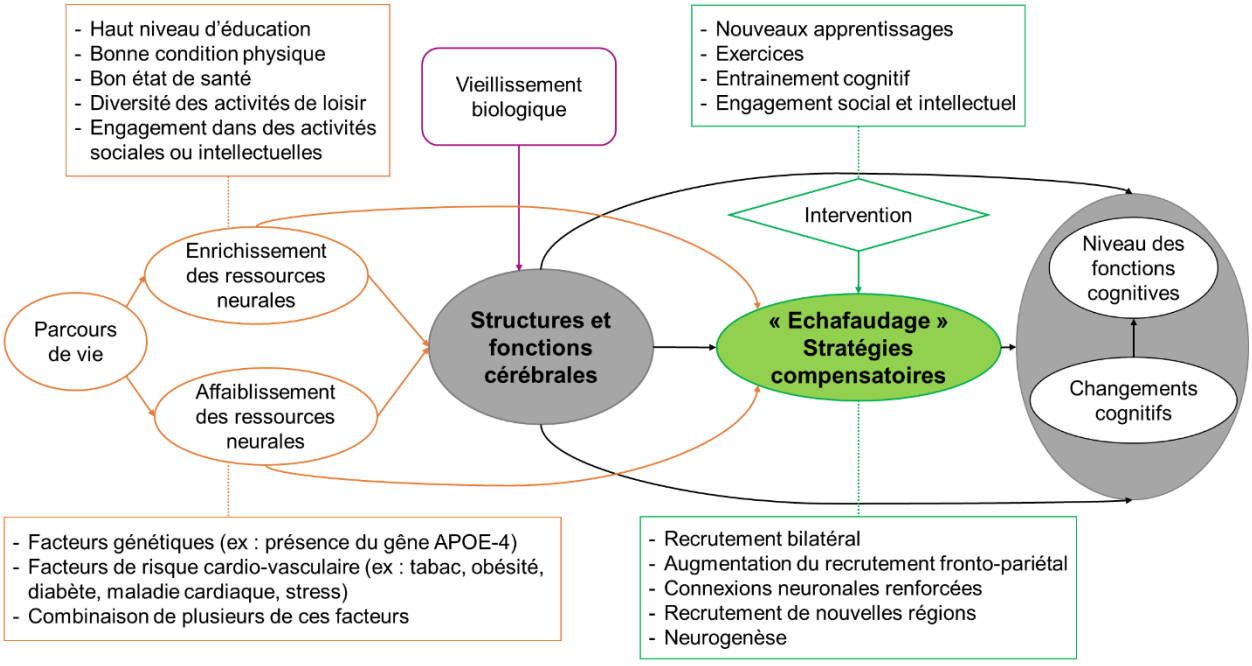
Le déclin cognitif observé au cours du vieillissement est lié à des modifications structurales et fonctionnelles du cerveau. Des études de neuro-imagerie fonctionnelle ont mis en évidence que les régions cérébrales sollicitées lors d'une tâche cognitive n'étaient pas les mêmes en fonction de l'âge (Eyler, Sherzai, Kaup, & Jeste, 2011 ; Spreng,

Wojtowicz, & Grady, 2010). En effet, ces études révèlent, d'une part, une diminution de l'activité dans certaines régions cérébrales par rapport aux jeunes adultes (aussi appelée sous-activation) et, d'autre part, une sur-activation d'autres régions cérébrales. La sous-activation des régions cérébrales nécessaires à la réalisation correcte de la tâche reflète un déficit dans le recrutement de ces régions. La sur-activation, quant à elle, peut avoir deux conséquences. Si elle est associée à des performances moindres des seniors par rapport aux jeunes adultes, elle reflète une diminution de la sélectivité des réponses, aussi appelée dédifférenciation. Si elle est associée à des performances équivalentes entre les seniors et les jeunes adultes, alors cette sur-activation atteste d'une compensation fonctionnelle, c'est-à-dire d'un recrutement de régions cérébrales supplémentaires afin de réaliser la tâche correctement (Grady, 2012).

II.3 Modélisation théorique du vieillissement cognitif

Depuis une quinzaine d'années, différents modèles théoriques ont tenté d'expliquer un mécanisme de compensation associé au vieillissement cognitif (Cabeza & Dennis, 2013). Récemment, un modèle plus complet a été proposé, le **modèle STAC-r** (Scaffolding Theory of Aging and Cognition-revised, Park & Reuter-Lorenz, 2009 ; Reuter-Lorenz & Park, 2014), qui vise à décrire les effets du vieillissement sur le fonctionnement cognitif de la personne âgée et représente le cerveau comme une structure dynamiquement adaptative, qui change de façon positive et négative avec l'âge (Figure 6).

Figure 6. Adaptation du modèle STAC-r, Reuter-Lorenz & Park, 2014



D'après ce modèle, le niveau cognitif de l'individu résulte à la fois des effets néfastes du vieillissement sur le cerveau (c'est-à-dire les modifications structurales et fonctionnelles) et des effets bénéfiques de la mise en place de stratégies compensatoires. Littéralement, le terme « scaffolding » présent dans le nom du modèle signifie « échafaudage », notion traduite ici par les termes de « stratégies compensatoires », sous-tendant l'idée de mobilisation de structures cérébrales additionnelles. Ces stratégies peuvent être considérées comme une forme de plasticité « positive » accompagnant le vieillissement, alors que les changements néfastes des structures cérébrales liés à l'âge sont des formes négatives de plasticité (Cramer et al., 2011 ; Greenwood, 2007). Plus précisément, ce mécanisme de compensation semble provenir de la sur-activation de certaines régions cérébrales (Cabeza & Dennis, 2013), du recrutement de nouvelles régions (Davis, Dennis, Daselaar, Fleck, & Cabeza, 2008 ; Gutchess et al., 2005) et de la neurogenèse (Lövdén, Wenger, Mårtensson, Lindenberger, & Bäckman, 2013). Ainsi, tous ces éléments fournissent un support additionnel au traitement des informations, nécessaire pour préserver un fonctionnement cognitif efficace.

Le modèle STAC-r suggère qu'il est possible d'augmenter ce mécanisme de compensation grâce à des interventions variées reposant sur un engagement intellectuel, sur de nouveaux apprentissages ou encore sur des entraînements cognitifs plus formels. En bref, ce modèle prend en compte les influences extérieures du « parcours de vie » de l'individu sur la structure et le fonctionnement du cerveau, et sur le mécanisme de compensation (Mayer, 2003). Ces influences extérieures peuvent être soit bénéfiques (notion de « neural resource enrichment »), soit néfastes (notion de « neural resource depletion »). Parmi les influences bénéfiques peuvent être citées un haut niveau d'éducation, une bonne condition physique et un bon état de santé, la diversité des activités de loisirs, ou encore l'engagement de l'individu dans des activités sociales ou intellectuelles. A l'inverse, certains facteurs génétiques (tels que la présence du gêne Apolipotrotéine E-4 ou APOE-4), des facteurs de risque cardio-vasculaire (tels que le tabac, l'obésité, le diabète, les maladies cardiaques, ou le stress), ou bien la combinaison de plusieurs de ces facteurs, peuvent avoir une influence négative sur le fonctionnement cognitif de la personne âgée. Enfin, le modèle STAC-r conceptualise les effets néfastes du vieillissement et les effets bénéfiques des mécanismes de compensation sur la cognition. Il souligne également l'importance du mode de vie et des activités de l'individu pour limiter le déclin cognitif lié à l'âge et favoriser la mise en place de stratégies compensatoires adaptées.

III. Conduite automobile

Après avoir détaillé les effets du vieillissement normal sur la cognition et les mécanismes de compensation existant, l'objet de ce troisième chapitre est de décrire la conduite automobile et les conséquences du déclin cognitif sur cette activité.

III.1 Définition

La conduite automobile est une activité complexe de contrôle de processus dynamiques qui doit aboutir à un diagnostic correct et à une prise de décision satisfaisante. Elle est soumise à un ensemble de règles figurant dans le code de la route et implique des capacités perceptives, motrices et cognitives. Au fil du temps, certains processus requis en conduite sont automatisés. L'apprentissage procédural de la conduite (par exemple, la gestion des commandes) va permettre la mise en place de routines, réduisant le coût cognitif de cette action. Les capacités attentionnelles, visuo-spatiales et les fonctions exécutives comptent parmi les processus cognitifs les plus sollicités en conduite automobile. De fait, le conducteur évolue au sein d'un environnement routier riche en informations et la gestion des ressources attentionnelles ainsi que l'anticipation des comportements des autres usagers de la route sont primordiales. Le conducteur doit parvenir à sélectionner les informations pertinentes pour la réalisation de la tâche en cours et inhiber les autres. Les vitesses de traitement de l'information et d'exécution du mouvement sont essentielles pour fournir une réponse adaptée à la situation. Le conducteur doit également planifier et coordonner sa réponse pour qu'elle soit, une fois encore, appropriée à la situation. Enfin, le conducteur doit maintenir son état d'alerte permanent car les demandes peuvent changer à tout moment (Anstey, Wood, Lord, & Walker, 2005). L'activité de conduite peut ainsi être vue comme une tâche cognitivo-motrice ayant lieu dans un environnement perçu par les sens, reposant sur une alternance de séquences d'actions automatisées et d'actions contrôlées (décisions conscientes).

III.2 Conséquences du vieillissement sur les capacités de conduite

Comme décrit dans le chapitre précédent, le vieillissement normal est responsable de nombreux changements anatomiques, fonctionnels, et provoque une diminution des capacités visuelles, psychomotrices et cognitives. Ces modifications peuvent avoir des répercussions sur des tâches complexes de la vie quotidienne, et notamment sur la conduite automobile. Cette activité apparait plus difficile pour les personnes âgées car elle leur demande plus de ressources qu'auparavant pour les effectuer et certains gestes deviennent compliqués à réaliser avec l'avancée en âge.

III.2.1 Effet du vieillissement sur les capacités cognitives et visuelles

Conduire dans un environnement routier nécessite de faire attention aux informations pertinentes pour la tâche en cours et d'ignorer les autres, dans une scène visuellement complexe. L'altération des différentes composantes de l'attention visuelle avec l'âge peut nuire à la perception de l'apparition d'un danger potentiel dans le champ visuel du conducteur (Daigneault, Joly, & Frigon, 2002). De plus, le ralentissement du traitement de l'information peut avoir de graves conséquences lorsqu'il s'agit de réagir dans une situation complexe ou dangereuse (Langford & Koppel, 2006 ; Salthouse, 2000). Enfin, le déclin des fonctions exécutives n'est pas sans conséquence car la mise à jour des informations, l'anticipation, ou encore la planification de l'action, sont des capacités importantes pour la réalisation de la tâche de conduite (Adrian, Postal, Moessinger, Rascle, & Charles, 2011). Par ailleurs, l'altération des capacités visuelles peut empêcher le conducteur de voir correctement des dangers éventuels, des piétons, les panneaux de signalisation, ou les feux et entraîner des difficultés pour conduire la nuit (Anstey et al., 2005 ; Langford & Koppel, 2006 ; Cynthia Owsley & McGwin, 2010).

III.2.2 Effet du vieillissement sur les capacités physiques

En plus des capacités cognitives, les capacités physiques peuvent également être touchées par le vieillissement. Les conducteurs âgés sont plus fragiles et plus vulnérables que les conducteurs plus jeunes, ils sont donc plus susceptibles d'être blessés lors d'accidents de la route. De plus, la diminution de la force musculaire et de la souplesse peut impacter l'activité de conduite. Par exemple, une raideur ressentie au niveau du cou peut limiter les mouvements de rotation de la tête, indispensables lorsque le conducteur doit observer la scène visuelle ou vérifier son angle mort. Ainsi, cette gêne physique peut avoir des répercussions sur la manière de conduire et impacter la sécurité du conducteur et des autres usagers de la route (Langford & Koppel, 2006 ; Ostrow, Shaffron, & McPherson, 1992 ; Tuokko, Rhodes, & Dean, 2007).

III.3 Modèles cognitifs de l'activité de conduite

Depuis les années 60, différents modèles fonctionnels décrivant l'activité de conduite et le comportement du conducteur ont été proposés, parmi lesquels les modèles motivationnels et les modèles du traitement de l'information. Cependant, ces deux types de modèles ont été critiqués car les premiers ne donnaient pas assez de détails sur les capacités de conduite et les savoir-faire, et les seconds ne prenaient pas en compte les émotions ou la motivation (Ranney, 1994). Les modèles hiérarchiques, basés sur

l'organisation de l'activité de conduite en sous-tâches sont apparus dans les années 80. Quatre modèles seront décrits ci-après, parmi lesquels, le modèle « Skill Rules Knowledge » ou SRK de Rasmussen (1983), le modèle tripartite du comportement du conducteur de Michon (1985), le modèle du comportement du conducteur de Brouwer (2002) et le modèle multifactoriel de la conduite sécuritaire d'Anstey (2005).

III.3.1 Modèle « Skill Rules Knowledge » (SRK)

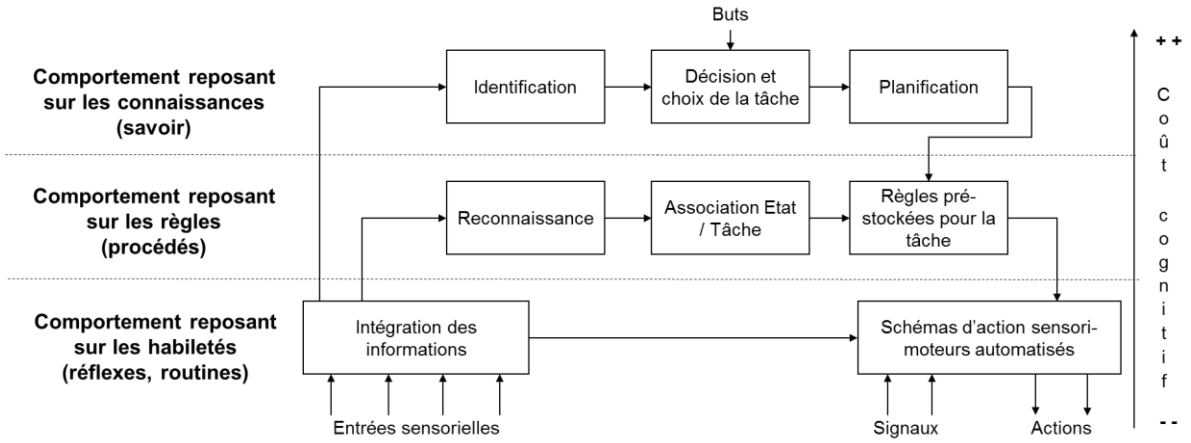
En 1983, Rasmussen a proposé un modèle décrivant l'association entre différents niveaux de comportements et les risques associés (Figure 7, Rasmussen, 1983). Ce modèle distingue trois types de comportements du conducteur : celui reposant sur les savoir-faire ou les habiletés (skill-based behavior), celui reposant sur les règles (rules-based behavior) et celui reposant sur les connaissances (knowledge-based behavior).

- Le **comportement reposant sur les habiletés** est automatique et peu coûteux. Il permet l'exécution d'actions de routine, de coordination entre la perception et les actions motrices (par exemple, maintenir sa trajectoire lors d'un virage). Par opposition, les deux comportements suivants permettent l'exécution d'actions contrôlées et se produisent dans des situations nouvelles ou inattendues.

- Le **comportement reposant sur les règles** permet la réalisation d'une action secondaire à un changement dans l'environnement du conducteur (par exemple, rétrograder et freiner à la suite du passage d'un feu à l'orange). Si ce comportement est efficace, il pourra même devenir automatique (et ainsi, devenir non conscient).

- En revanche, si le comportement reposant sur les règles n'est pas suffisant, le conducteur fera appel à ses **connaissances** pour faire face à la situation en adoptant un comportement qui nécessite des fonctions de plus haut niveau (par exemple, si le conducteur se retrouve face à une route barrée et doit modifier son trajet pour atteindre sa destination, il devra mettre à jour les informations reçues et planifier son nouvel itinéraire).

Figure 7. Représentation du modèle du comportement "Skill Rules Knowledge", d'après Rasmussen (1993)



III.3.2 Modèle de Michon

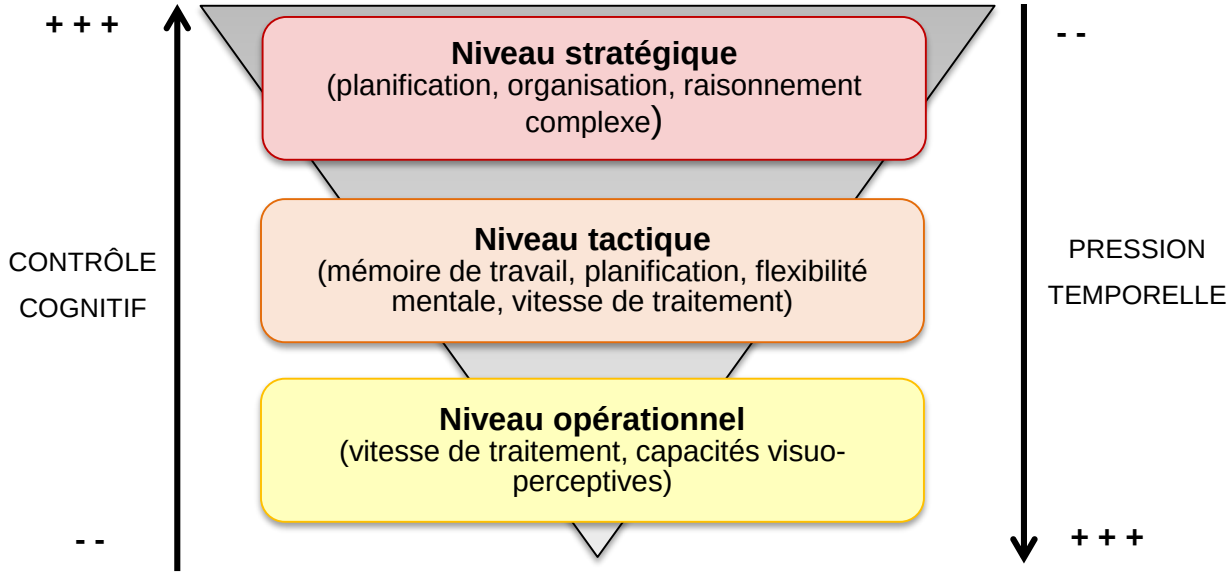
Selon Michon, la conduite automobile est une activité regroupant de multiples tâches simultanées et chaque tâche présente un coût cognitif lié à son exigence temporelle. Ainsi plus une tâche doit être effectuée rapidement, moins elle est coûteuse cognitivement. En 1985, il a proposé un modèle tripartite pour décrire le comportement du conducteur (Figure 8).

- Le niveau **opérationnel** est le niveau le plus bas du modèle. Il correspond à des actions non contrôlées, requérant peu de ressources cognitives, mais qui doivent être réalisées très rapidement (en moins d'une seconde). L'automatisation est rendue possible par le faible coût cognitif de la tâche. Ainsi, les tâches d'exécution motrice de maniement du véhicule appartiennent à ce niveau (par exemple, le changement de vitesse). Ces tâches requièrent l'implication des capacités d'attention visuelle, visuo-perceptives et de vitesse de traitement de l'information.

- Le niveau **tactique** est le niveau intermédiaire du modèle. Il comprend les actions soumises à un coût cognitif plus important, contrôlées, réalisées dans un délai de l'ordre de la seconde. Les comportements rencontrés lors de situations nécessitant une adaptation, une régulation du comportement (par exemple, lors de dépassements, ou de l'ajustement de la vitesse et de la distance en cas de suivi de véhicule) appartiennent à ce niveau. Ces comportements reposent principalement sur le fonctionnement exécutif (planification, flexibilité mentale, jugement, mémoire de travail) mais aussi sur des processus attentionnels, ainsi que des capacités cognitives de plus bas niveau, telle que la vitesse de traitement de l'information.

- Le niveau **stratégique** est le niveau supérieur du modèle. Il concerne les actions contrôlées ayant un coût cognitif maximal, et une pression temporelle moindre (de l'ordre de quelques minutes). Ces actions font appel à des informations stockées en mémoire et sollicitent les fonctions exécutives (telles que la planification, l'organisation, ou le raisonnement complexe) et les capacités attentionnelles (par exemple, planifier son itinéraire et le suivre pour se rendre à un rendez-vous).

Figure 8. Représentation du modèle de Michon (1985) décrivant le comportement de conduite et les capacités cognitives sous-jacentes



III.3.3 Modèle du comportement du conducteur de Brouwer

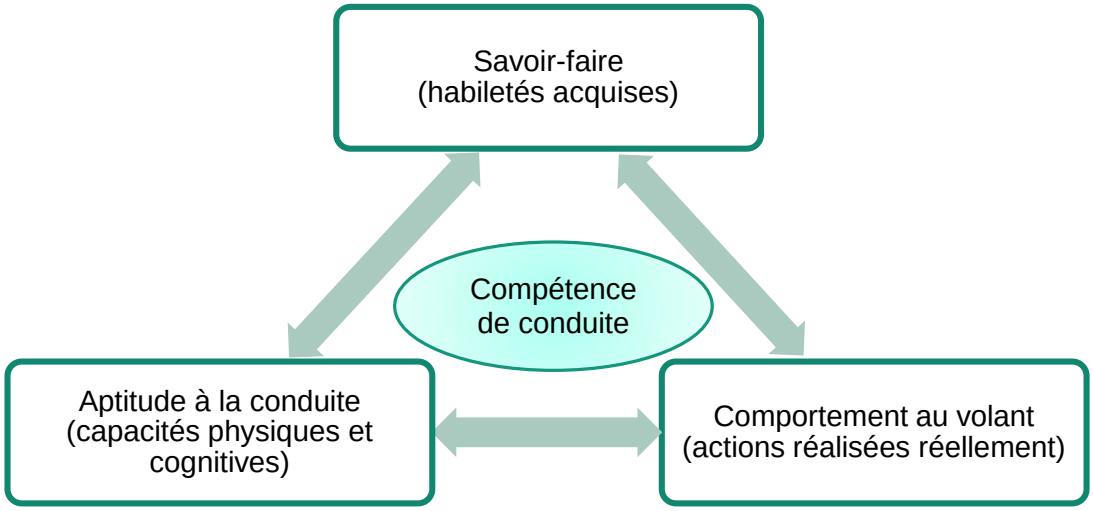
En 2002, Brouwer a proposé un autre modèle théorique du comportement du conducteur, prenant en compte les aspects neuropsychologiques des conducteurs et la structure complexe de la tâche de conduite. La compétence de conduite repose sur trois composantes (voir Figure 9).

- Le **savoir-faire** (ou « driving skill ») du conducteur correspond au niveau cognitif complexe, reposant sur les habiletés acquises, reflétant l'apprentissage de l'évaluation de situations de conduite et de la sélection des actions à effectuer pour conduire en toute sécurité, et témoignant ainsi de l'expérience du conducteur.

- L'**aptitude à la conduite** (ou « fitness to drive ») est déterminée par les capacités physiques et cognitives du conducteur, suffisantes pour apprendre et appliquer les règles de conduite.

- Enfin, le **comportement au volant** (« driving behaviour ») correspondant aux actions concrètes du conducteur en situation de conduite.

Figure 9. Représentation du modèle cognitif de la conduite de Brouwer



Ces trois composantes semblent être dépendantes les unes des autres. Théoriquement, l'aptitude à la conduite est liée à l'apprentissage et à l'expérience (au savoir-faire), mais ce n'est pas parce qu'un individu a obtenu son permis de conduire et qu'il a les capacités physiques et cognitives suffisantes pour conduire, qu'il est un conducteur compétent. En effet, il peut adopter un comportement dangereux en se mettant dans des situations qu'il n'arrive pas à gérer. D'après Brouwer, l'expérience est un élément majeur pour la compétence de conduite. L'apprentissage de procédures, devenant des routines, modifie l'architecture cognitive du conducteur. L'activité de conduite d'un conducteur expérimenté repose alors sur une alternance de séquences comportementales stéréotypées plus ou moins longues et de phases vérification consciente (contrôle) et d'ajustement de l'action. Les séquences comportementales stockées en mémoire dans un répertoire peuvent être réutilisées et adaptées en fonction de la situation de conduite rencontrée. Néanmoins, avec le vieillissement, les personnes âgées, qui sont des conducteurs expérimentés, peuvent présenter un ralentissement du traitement de l'information. Grâce à la compensation au niveau du savoir-faire ou du comportement, cette diminution de l'aptitude à la conduite ne fait pas de la personne âgée un conducteur incompétent.

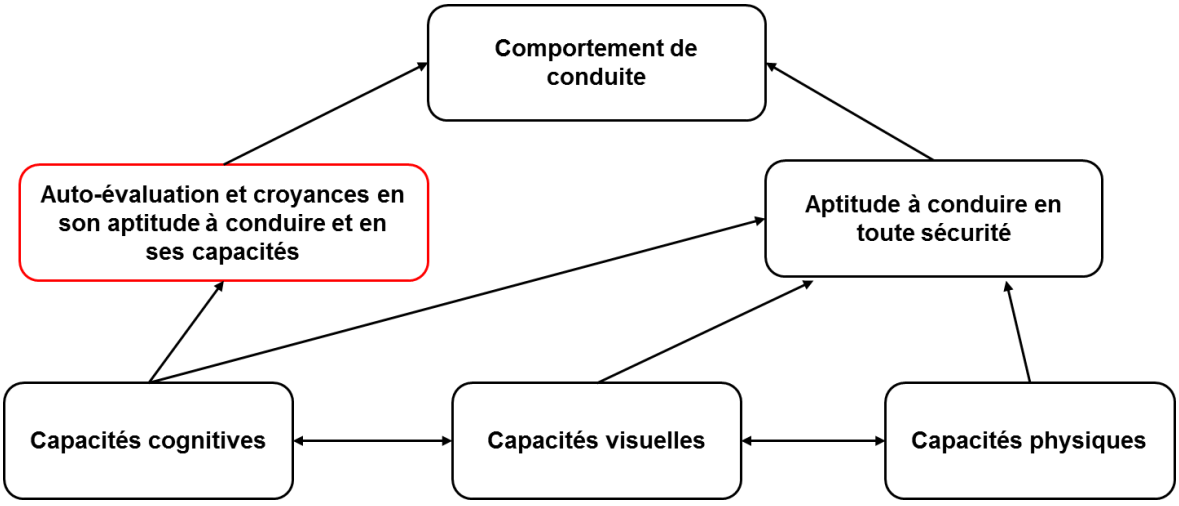
Les trois modèles théoriques de l'activité de conduite présentés précédemment sont complémentaires sur plusieurs aspects. Tout d'abord, contrairement au modèle de

Rasmussen, le modèle de Michon détaille les différentes fonctions cognitives sollicitées lors de l'activité de conduite, en fonction du niveau hiérarchique considéré. Le modèle de Brouwer, lui, prend en compte les capacités cognitives et physiques des conducteurs sur lesquelles repose l'aptitude à la conduite. Ce modèle souligne l'importance de l'expérience du conducteur, notamment dans le cas où les seniors ont besoin de compenser certains déficits cognitifs pouvant altérer la qualité de leur conduite. Néanmoins, ces trois modèles ne prennent pas en compte un facteur subjectif qui influence les choix faits par les conducteurs, à savoir, la conscience des capacités liées à la conduite et leur évaluation par les conducteurs et qui influe l'autorégulation de la conduite. En effet, comme cela sera décrit dans le chapitre suivant, l'autorégulation du comportement de conduite est fortement dépendante de la manière dont les individus perçoivent leurs capacités (Gabaude, Marquié, & Obriot-Claudel, 2010 ; MacDonald, Myers, & Blanchard, 2008 ; Marottoli & Richardson, 1998).

III.3.4 Modèle multifactoriel de la conduite sécuritaire d'Anstey

En 2005, Anstey et collaborateurs ont proposé un modèle multifactoriel du comportement du conducteur âgé prenant en compte les effets du vieillissement sur l'aptitude à la conduite et la manière dont le conducteur percevait cette aptitude (Figure 10). Pour réaliser ce modèle, les auteurs se sont basés sur une revue de la littérature qui a permis d'identifier les changements cognitifs, physiques et perceptifs causés par le vieillissement et leurs conséquences sur la conduite automobile.

Figure 10. Adaptation du modèle multifactoriel de la conduite d'Anstey et al., 2005



D'après ce modèle, les capacités **cognitives** (telles que la vitesse de traitement, l'attention, la mémoire à court-terme, et les fonctions exécutives), **physiques** (telles la motricité et l'état de santé général), et **visuelles** (telles que l'acuité visuelle et la sensibilité au contraste) déterminent l'aptitude à conduire en toute sécurité. Le comportement du conducteur dépend à la fois de cette aptitude (qui est objective, réelle) et d'un facteur plus subjectif, appelé « **l'auto-monitoring** » reflétant la manière dont le conducteur perçoit ses capacités de conduite. L'auto-monitoring repose sur l'auto-évaluation des capacités de conduite par le conducteur (sous-tendues par ses capacités cognitives, visuelles et physiques) et influence la manière dont il adapte son comportement (ou « autorégule », notion détaillée dans le prochain chapitre). Ainsi, les difficultés cognitives, physiques ou visuelles affaiblissent les capacités de conduite des conducteurs âgés, mais leur conscience et leur perception correcte induisent une adaptation de leur comportement en conséquence pour ne pas prendre de risque au volant de leur véhicule. A l'inverse, une absence de conscience des difficultés ou une perception erronée des capacités peut entraîner un comportement dangereux sur la route (Anstey et al., 2005). Ce dernier point est crucial puisque, comme illustré dans le modèle de Michon, les capacités d'auto-estimation pourront déterminer la mise en place de comportements liés au niveau stratégique, tels que la planification. Ainsi, quelqu'un qui a conscience du fait qu'il n'arrive pas à maintenir son attention sur le long terme dans des conditions de conduite compliquées pourra se réguler et mettre en place des comportements stratégiques ou bien éviter ces situations compliquées. Par exemple, un conducteur pourra choisir d'éviter de conduire sur les autoroutes en cas de grosse affluence s'il a du mal à gérer cette situation, ou encore instaurer des pauses plus fréquentes que de coutume.

En somme, ce modèle multifactoriel d'Anstey et al. (2005) est plus complet que les modèles précédemment décrits car il met en évidence que le comportement du conducteur n'est pas simplement le reflet des capacités cognitives, physiques et visuelles réelles du conducteur, mais dépend également de la manière dont le conducteur perçoit et évalue ses propres capacités. Ce facteur subjectif est très important dans l'autorégulation du comportement de conduite chez les seniors.

IV. Autorégulation de la conduite automobile

IV.1 Définition

L'autorégulation de la conduite automobile consiste en une adaptation comportementale de l'individu, qui a lieu tout au long de sa vie de conducteur, du moment où il apprend à conduire jusqu'à ce qu'il cesse son activité (Gwyther & Holland, 2012). De nombreuses définitions de l'autorégulation de la conduite ont été formulées au cours des trente dernières années (voir Donorfio, D'Ambrosio, Coughlin, & Mohyde, 2009 pour revue). Dans le cadre de cette thèse, l'autorégulation de la conduite sera définie comme étant l'ensemble des ajustements comportementaux mis en place par le conducteur pour répondre de manière adéquate aux changements fonctionnels (cognitifs, sensoriels ou moteurs) liés à l'âge (Donorfio, Mohyde, et al., 2008).

L'autorégulation de la conduite regroupe une large gamme de comportements allant de l'évitement de certaines situations jusqu'à la planification de tous les aspects d'un voyage (la préparation de l'itinéraire, la prévision des pauses, etc., Donorfio et al., 2008 ; Molnar, Eby, Roberts, St Louis, & Langford, 2009). Plusieurs études ont montré que des conducteurs âgés mettaient en place des **stratégies d'évitement** de situations jugées trop difficiles, telles que la conduite de nuit, par mauvais temps, sur autoroute, ou aux heures de pointe (Baldock et al., 2006 ; Ball et al., 1998 ; Blanchard & Myers, 2010 ; Charlton et al., 2006 ; Stalvey & Owsley, 2003) ou des **stratégies d'adaptation** de leur comportement à leurs capacités, telles que la diminution des distances parcourues, l'augmentation des distances de sécurité ou la diminution de la vitesse (Blanchard & Myers, 2010 ; Charlton et al., 2006 ; Donorfio, Mohyde, et al., 2008 ; Meng & Siren, 2012 ; Meng, Siren, & Teasdale, 2013 ; Molnar et al., 2009 ; Siren & Meng, 2013). Ces ajustements comportementaux ont pour but de réduire l'exposition au risque d'accident de la personne âgée en lui permettant de maintenir son activité de conduite dans des conditions sûres (Baldock et al., 2006 ; Charlton et al., 2006 ; Donorfio, Mohyde, et al., 2008).

IV.2 Facteurs influençant l'autorégulation de la conduite

Les processus impliqués dans l'autorégulation sont complexes et la mise en place des stratégies d'autorégulation est multifactorielle. Les facteurs qui influencent les comportements des conducteurs sont le sexe, l'âge, l'état de santé, la perception des capacités de conduite et cognitives, ainsi que les performances de conduite et cognitives.

IV.2.1 Le sexe et l'âge

Pour le facteur sexe, il a été montré que les femmes avaient moins confiance en leur conduite que les hommes (Gwyther & Holland, 2012), qu'elles avaient davantage conscience des déficits liés à l'âge que les hommes et qu'elles connaissaient également plus les stratégies d'autorégulation à mettre en place pour y faire face (Donorfio, Mohyde, et al., 2008). Par conséquent, les femmes sont plus enclines que les hommes à réduire leur conduite et à éviter davantage les intersections, les voies rapides ou autoroutes, de conduire par mauvais temps, ou lorsque le trafic est dense (Charlton et al., 2006 ; Gwyther & Holland, 2012).

En ce qui concerne l'âge, plus les conducteurs sont âgés et plus ils tendent à mettre en place des stratégies d'évitement de situations de conduite difficiles, telles que les ronds-points, les situations de tourne-à-gauche, les voies rapides, la conduite de nuit, par mauvais temps, ou aux heures de pointe (Charlton et al., 2006 ; Gabaude et al., 2010 ; Moták, Gabaude, Bougeant, & Huet, 2014). Cet effet de l'âge sur l'autorégulation de la conduite est accentué par la perception du déclin de l'état de santé. En effet, les personnes âgées qui se perçoivent en bonne santé déclarent conduire plus, avoir plus confiance en leur conduite, prendre davantage plaisir à conduire et avoir eu moins d'accidents au cours des dix dernières années que les personnes en moins bonne santé, et ce, indépendamment de leur âge. A l'inverse, les personnes qui ne se perçoivent pas en bonne santé déclarent éviter des situations de conduite difficiles et sont moins satisfaites de leur mobilité (Donorfio, D'Ambrosio, Coughlin, & Mohyde, 2008).

IV.2.2 La perception de l'état de santé

La perception de l'état de santé est un facteur prédictif de la mise en place de stratégies d'autorégulation telles que l'évitement de situations difficiles (Gabaude et al., 2010 ; Moták et al., 2014). A la suite d'une détérioration trop importante de leur état de santé, provoquant un inconfort et un stress au volant, certains conducteurs prennent la décision – ou sint obligés (à cause du non renouvellement de leur permis de conduire, à la suite d'un avis médical négatif[2]) – d'arrêter de conduire (Hakamies-Blomqvist & Wahlström, 1998). L'arrêt de la conduite est l'ultime étape de l'autorégulation, pour laquelle un continuum existe (Lyman, McGwin, & Sims, 2001). Satariano et collaborateurs (2012) ont montré que renoncer à prendre le volant après plus de 60 ans de permis n'est pas une chose aisée car cette décision peut causer une dépendance et un isolement pouvant

[2] Etude réalisée en Finlande où le permis de conduire a une validité limitée et où les conducteurs de plus de 70 ans sont soumis à un examen médical permettant son renouvellement

conduire à un vieillissement pathologique. En outre, l'arrêt de la conduite entraîne une limitation à l'accès aux biens et aux services, pouvant être à l'origine de problèmes de santé (Marottoli et al., 2000 ; Oxley & Whelan, 2008), un risque augmenté de dépression (Boot, Stothart, & Charness, 2014 ; Edwards, Lunsman, Perkins, Rebok, & Roth, 2009 ; Fonda, Wallace, & Herzog, 2001 ; Marottoli et al., 1997 ; Ragland, Satariano, & MacLeod, 2005), et une réduction des activités hors du domicile pouvant conduire à un isolement social (Marottoli et al., 2000 ; Mezuk & Rebok, 2008).

IV.2.3 Autoévaluation des capacités

D'après le modèle d'Anstey et collaborateurs (2005), le comportement du conducteur dépend de son aptitude objective à la conduite (capacités visuelles, physiques et cognitives), mais également à la manière dont il perçoit et autoévalue ses capacités (c'est-à-dire, ses capacités perçues). A la notion « d'auto-évaluation des capacités » se rattache celle de « calibration ». La calibration représente l'écart entre la perception de ses propres capacités (représentée par l'auto-évaluation) et les capacités réelles (Horrey, Lesch, Mitsopoulos-Rubens, & Lee, 2015). Ainsi, un conducteur qui estimera correctement ses capacités aura une calibration correcte ; en revanche, un conducteur qui n'estimera pas correctement ses capacités (c'est-à-dire qui se surestimera ou se sous-estimera) présentera une calibration erronée ou biaisée.

Depuis la fin des années 90, plusieurs auteurs ont montré que la calibration était directement liée aux compétences des individus dans un domaine particulier (voir Ehrlinger, Johnson, Banner, Dunning, & Kruger, 2008 pour revue). En effet, les personnes les moins compétentes (se trouvant dans le premier quartile de la distribution) sont celles qui se surestiment le plus, et les personnes les plus compétentes (se trouvant dans le dernier quartile de la distribution) ont tendance à se sous-estimer (Ehrlinger et al., 2008 ; Kruger & Dunning, 1999). La surestimation des capacités est généralement liée à une conscience erronée de ses propres capacités, révélant une faiblesse des capacités métacognitives, c'est-à-dire à une connaissance erronée de sa propre cognition et de la régulation de sa cognition (Kruger & Dunning, 1999).

Dans le domaine de la conduite automobile, il a été montré que les conducteurs de tout âge avaient tendance à surestimer leurs capacités de conduite (Amado, Arıkan, Kaça, Koyuncu, & Turkan, 2014 ; De Craen, Twisk, Hagenzieker, Elffers, & Brookhuis, 2011 ; Gregersen, 1996). En outre, les conducteurs âgés ont tendance à s'évaluer comme étant « aussi bons » voire « meilleurs » que les personnes de leur âge (Marottoli & Richardson, 1998 ; Sundström, 2008) et à sous-estimer le risque de certaines situations de conduite (Freund, Colgrove, Burke, & McLeod, 2005). Plus l'écart entre la perception des capacités

de conduite par les seniors et leurs capacités réelles est grand (c'est-à-dire plus la calibration est erronée) et moins ils sont à même d'autoréguler correctement leur conduite (MacDonald et al., 2008). La combinaison de la surestimation des capacités de conduite d'une part, et de la sous-estimation du risque, d'autre part, contribue à une plus grande prise de risque sur la route, comme par exemple, rouler au-delà des limitations de vitesse, conduire de nuit, par mauvais temps ou encore aux heures de pointe, ce qui amène les conducteurs à des situations où leurs capacités ne leurs permettent plus de faire face aux difficultés rencontrées (Anstey et al., 2005 ; Gregersen, 1996 ; MacDonald et al., 2008 ; Marottoli & Richardson, 1998 ; Sümer, Ozkan, & Lajunen, 2006).

L'auto-évaluation des capacités de conduite n'est pas le seul facteur à influencer les stratégies d'autorégulation mises en place par les conducteurs seniors. En effet, en 2010, Gabaude et collaborateurs ont cherché à identifier les principaux facteurs associés à l'évitement de situations difficiles. Après avoir réalisé des analyses de régressions multiples, les auteurs ont montré que deux facteurs étaient de forts prédicteurs de l'évitement de situations difficiles, l'auto-évaluation de la vitesse de traitement d'une part, et l'auto-évaluation des capacités attentionnelles d'autre part.

IV.2.4 Les capacités visuelles

Des chercheurs se sont également intéressés au lien existant entre les stratégies d'autorégulation mises en place par les conducteurs seniors et, d'une part, les capacités d'attention visuelle, et d'autre part, la conscience des déficits visuels apparaissant avec l'âge. Les résultats issus de ces travaux sont contradictoires. Owsley et collaborateurs (1999) ont montré que la diminution des capacités visuelles avec l'âge était significativement associée à une augmentation des évitements de situations de conduite difficiles par les conducteurs seniors, contrairement à Baldock et collaborateurs (2008) ou à Stalvey & Owsley (2000). Par ailleurs, d'autres études réalisées dans le but d'examiner le lien entre les performances d'attention visuelle (évaluées par le test de l'UFOV®, Useful Field of View, par exemple) et la mise en place de stratégies d'autorégulation chez les conducteurs, indiquent que la diminution des performances d'attention visuelle n'est pas associée à l'augmentation de l'évitement de situations de conduite difficiles (Baldock et al., 2008 ; Stalvey & Owsley, 2000). Néanmoins, Holland & Rabbitt (1992) ont montré qu'une amélioration de la prise de conscience de la diminution des capacités visuelles grâce à un questionnaire avait permis d'améliorer les stratégies d'autorégulation mises en place par les conducteurs seniors.

IV.2.5 Performances cognitives et de conduite

Parallèlement à l'auto-évaluation des capacités visuelles, cognitives et de conduite, les performances cognitives ou de conduite sont également associées à la mise en place de stratégies d'autorégulation. Les capacités cognitives mesurées objectivement par le test de la montre, le Trail Making Test (TMT) et le test du code de Wechsler sont liées à l'évitement de situations de conduite difficiles (Wong, Smith, & Sullivan, 2012 ; Rapoport et al., 2013 ; Moták, Gabaude, Bougeant, & Huet, 2014, respectivement). Plus précisément, les conducteurs seniors ayant des difficultés à réaliser le test de la montre sont également ceux étant le moins enclins à éviter des situations de conduite difficiles telles que la conduite de nuit, par mauvais temps, lorsqu'il y a beaucoup de circulation, sur l'autoroute ou le fait de devoir tourner en coupant la circulation venant en sens inverse, c'est-à-dire tourner à droite en Australie (Wong et al., 2012). De plus, Rapoport et collaborateurs (2013) ont montré que le temps mis pour réaliser le TMT (parties A et B) ainsi que le nombre d'erreurs faites lors de la partie B du TMT étaient associés à l'évitement de situations de conduite difficiles. Par ailleurs, en 2014, Moták et collaborateurs ont montré que les performances au test des codes de Wechsler étaient significativement corrélées avec l'évitement de la conduite aux heures de pointe et sur l'autoroute.

Enfin, la relation entre les performances de conduite et la mise en place de stratégies d'évitement a été étudiée en 2006 par Baldock et collaborateurs. Les auteurs n'ont pas mis en évidence de corrélation entre le score de pénalité obtenu à la suite d'une évaluation de conduite sur route (comptabilisant les interventions du moniteur, les excès de vitesse, les manœuvres dangereuses, le non-respect du code de la route, le contrôle visuel dans les rétroviseurs ou l'absence de clignotant, etc.) et le score d'évitement des situations de conduite difficiles. Les auteurs en ont déduit que tous les conducteurs seniors ne mettaient pas en place des stratégies d'autorégulation, et que ceux qui commettaient des erreurs sur la route étaient ceux qui n'autorégulaient pas correctement leur conduite.

IV.3 Conclusion

L'autorégulation de la conduite chez les séniors est un processus sous la dépendance de nombreux facteurs tels que l'âge, le sexe, la perception de l'état de santé, la perception des capacités de conduite et cognitives, et les capacités réelles de conduite et cognitives (Baldock et al., 2008 ; Charlton et al., 2006 ; Donorfio, D'Ambrosio, et al., 2008 ; Donorfio, Mohyde, et al., 2008 ; Gabaude et al., 2010 ; Holland & Rabbitt, 1992 ; MacDonald et al., 2008 ; Marottoli & Richardson, 1998 ; Moták et al., 2014 ; Rapoport et al., 2013 ; Sundström, 2008 ; Wong et al., 2012). Pour que l'autorégulation de la conduite soit

efficace, c'est-à-dire qu'elle permette un maintien de la mobilité dans des conditions sûres, elle doit être adaptée aux capacités des conducteurs (Baldock et al., 2006). Dans leur modèle multifactoriel de la conduite sécuritaire, Anstey et collaborateurs (2005) ont mis en évidence que l'adoption d'un comportement par l'individu dans une situation donnée dépendait de la manière dont il percevait ses propres capacités. Ainsi, les conducteurs conscients du déclin de leur état de santé et de la diminution de certaines fonctions cognitives, sensorielles ou motrices avec l'âge, affectant leur conduite, sont plus à même de mettre en place des stratégies d'autorégulation garantissant leur sécurité sur la route (Baldock et al., 2006 ; Donorfio et al., 2009 ; Donorfio, Mohyde, et al., 2008 ; Eby, Molnar, Shope, Vivoda, & Fordyce, 2003 ; Freund et al., 2005 ; Holland & Rabbitt, 1992). En revanche, l'altération des capacités visuelles, cognitives ou de conduite des conducteurs seniors n'est pas toujours associée à une augmentation de la mise en place de stratégies d'autorégulation (Baldock et al., 2008 ; Stalvey & Owsley, 2000 ; Wong et al., 2012), suggérant une absence de conscience du déclin de certaines capacités affectant la conduite et une calibration erronée de ces capacités. Par conséquent, les conducteurs doivent avoir une perception précise et juste de leurs forces et de leurs faiblesses, c'est-à-dire qu'ils doivent être correctement calibrés, afin qu'ils puissent mettre en place des stratégies d'autorégulation adaptées pour limiter les risques d'accidents (Horswill, Sullivan, Lurie-Beck, & Smith, 2013).

V. Modélisation du processus d'autorégulation de la conduite chez les seniors

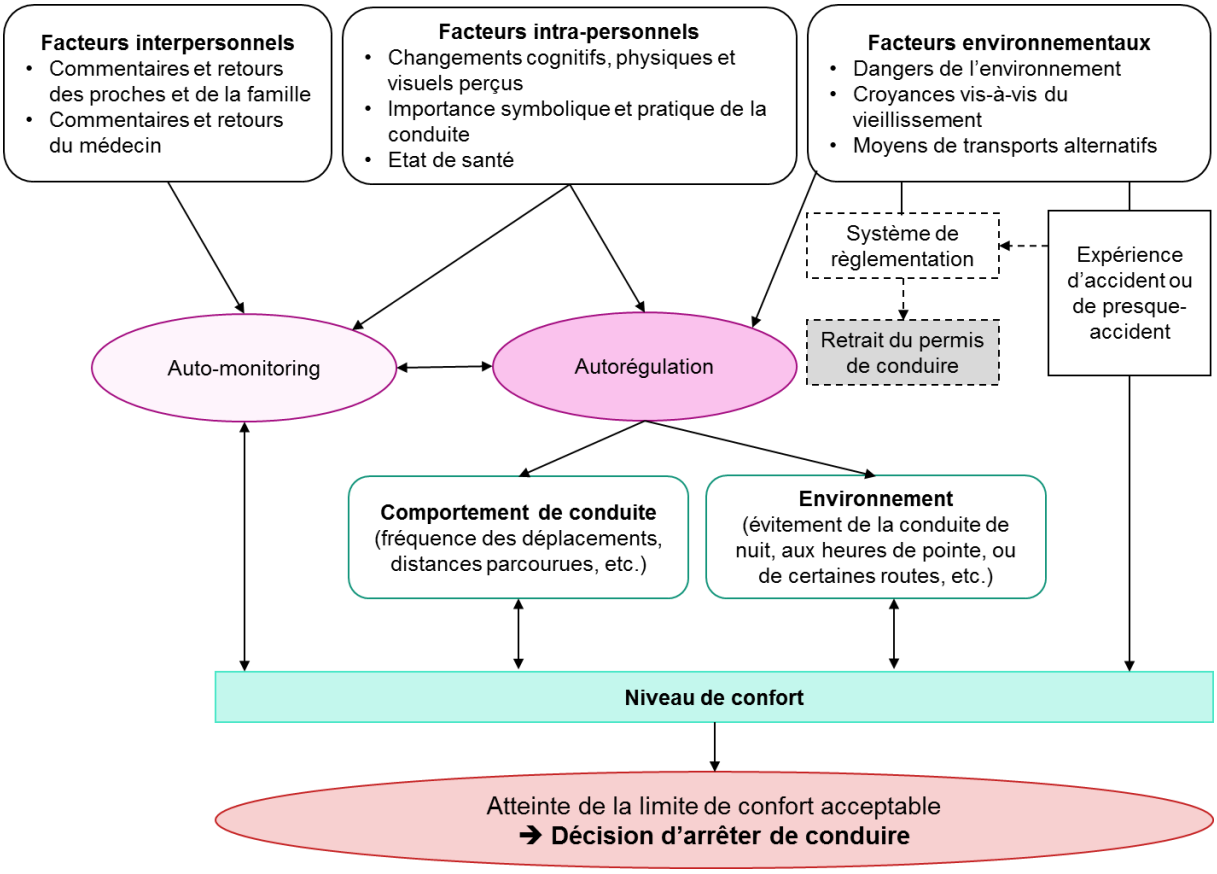
Depuis une dizaine d'années, plusieurs auteurs ont proposé des modèles permettant de décrire le processus d'autorégulation en prenant en compte les facteurs influençant le changement de comportement des conducteurs seniors et les étapes qui mènent à l'adoption de stratégies d'autorégulation et à l'arrêt de la conduite. Trois de ces modèles sont détaillés dans ce cinquième chapitre.

V.1 Modèle de Rudman et collaborateurs (2006)

En 2006, Rudman et collaborateurs ont cherché à identifier les facteurs intra-personnels, interpersonnels et environnementaux influençant les comportements et les décisions des conducteurs seniors. Pour ce faire, 79 personnes âgées de 55 à 94 ans, parmi lesquelles figuraient 26 personnes ayant arrêté de conduire, ont participé à des groupes de discussions au cours desquels, un expérimentateur posait des questions orientées aux participants en utilisant une méthode d'entretien semi-directif. Les buts de ces entretiens étaient de i) déterminer la signification pratique et symbolique de la conduite automobile et de son arrêt pour les seniors, ii) identifier les stratégies d'auto-monitoring (reflétant la manière dont les conducteurs perçoivent leur capacités) et d'autorégulation mises en place par les conducteurs, et pour ceux conduisant encore, iii) identifier les stratégies mises en place par les conducteurs une fois que la conduite sera devenue difficile voire impossible.

L'analyse des réponses obtenues lors de ces groupes de discussion a permis aux auteurs de proposer un modèle du processus d'autorégulation chez les conducteurs seniors (Figure 11). D'après ce modèle, la mise en place de stratégies d'autorégulation dépend à la fois de facteurs intra-personnels (par exemple, la prise de conscience des changements physiques, cognitifs ou visuels) et de facteurs environnementaux (par exemple, l'existence d'un mode de transport alternatif). L'autorégulation est également liée à l'auto-monitoring, qui dépend de facteurs interpersonnels (par exemple, les commentaires faits par les proches), mais également des facteurs intra-personnels susmentionnés. Enfin, la décision d'arrêter de conduire est liée à l'inconfort ressenti par le conducteur malgré les stratégies d'autorégulation mises en place et peut également être accentuée par une expérience d'accident ou de presque accident (Rudman et al., 2006).

Figure 11. Modèle du processus d'autorégulation de la conduite chez les conducteurs seniors, adapté de Rudman et al., 2006



Cette étude fournit les premiers éléments permettant de comprendre les moteurs du changement du comportement des conducteurs avec l'avancée en âge. Les résultats de cette étude soulignent l'importance du rôle des feedbacks donnés par l'entourage et des changements physiques, sensoriels ou cognitifs ressentis par le conducteur dans la perception de ses capacités et dans la mise en place des stratégies d'autorégulation. Cependant, ce modèle présente deux limites majeures. La première limite est que l'élément central de ce modèle est le niveau de confort ressenti par les conducteurs. Or, l'inconfort ressenti dans certaines situations peut conduire à une limitation de la mobilité sans pour autant favoriser la sécurité. Par exemple, un conducteur ressentant une gêne physique ou une douleur articulaire en conduisant, peut être plus fatigué et moins réactif au volant de sa voiture. Ainsi, il va autoréguler sa conduite en réduisant ses déplacements, sans pour autant mettre en place des stratégies compensatoires pour faire face à la diminution de son temps de réaction, ni améliorer sa sécurité (Ruechel & Mann, 2005). Dans ce cas, l'autorégulation est un processus automatique, mis en place uniquement dans le but de limiter cet inconfort sans viser une conduite sécuritaire (De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000b). De plus, les conducteurs conscients du déclin de certaines de leurs capacités

mettraient en place des stratégies compensatoires, comme par exemple, le fait de planifier leur déplacement en avance ou de réduire leur vitesse, et seraient plus prudents sur la route (Meng & Siren, 2012). Ainsi, la conscience de ses propres capacités semble davantage être à l'origine d'un changement de comportement en vue d'une amélioration de la sécurité sur la route, que le niveau de confort ressenti en lui-même. La seconde limite est que Rudman et collaborateurs ne font pas d'hypothèse quant à la séquence des événements et de l'enchainement des différentes étapes qui aboutissent au changement de comportement du conducteur. Ces informations peuvent être fournies grâce aux récents modèles théoriques séquentiels (faisant appel à une séquence ordonnée d'étapes) pour décrire le comportement des conducteurs seniors, qu'ils l'aient changé ou non. Dans cette logique, la première étude présentée ci-après se base sur le modèle transthéorique du changement (Kowalski, Jeznach, & Tuokko, 2014) et la seconde étude, sur le modèle du processus d'adoption du comportement de précaution (Hassan et al., 2015).

V.2 Modèle transthéorique du changement de comportement appliqué à la conduite automobile

En 2014, Kowalski et ses collègues ont tenté de décrire le processus d'autorégulation de la conduite chez les conducteurs seniors en se basant sur le modèle transthéorique du changement de comportement (Prochaska & DiClemente, 1982). Initialement, ce modèle comporte cinq étapes décrivant le processus de modification du comportement : i) la **pré-contemplation** (absence de désir de changement et de perception du problème), ii) la **contemplation** (conscience du problème sans action), iii) la **préparation** (initiation des premiers changements mineurs et planification des changements majeurs à venir), iv) l'**action** (changement effectif du comportement), et v) le **maintien** (persistance dans le nouveau comportement). Pour illustrer le changement de comportement en conduite chez les seniors, Kowalski et al. y ont ajouté une sixième étape : la **finition** ou **terminaison** (arrêt de l'activité de conduite ; Kowalski, Jeznach, & Tuokko, 2014).

Le modèle transthéorique proposé par Prochaska et DiClemente suppose l'existence de **facteurs internes** (tels que la personnalité, les habiletés cognitives, les ressources financières, l'histoire personnelle du conducteur, et la conscience du déclin de ses propres capacités de conduite) et de **facteurs externes** (tels que des changements dans l'environnement ou des conseils prodigués par un médecin) influençant le processus du changement de comportement (Velicer, Rossi, Diclemente, & Prochaska, 1996). Le passage d'une étape à une autre repose sur une **balance décisionnelle**, impliquant de peser le pour et le contre de la modification du comportement. Le processus du changement

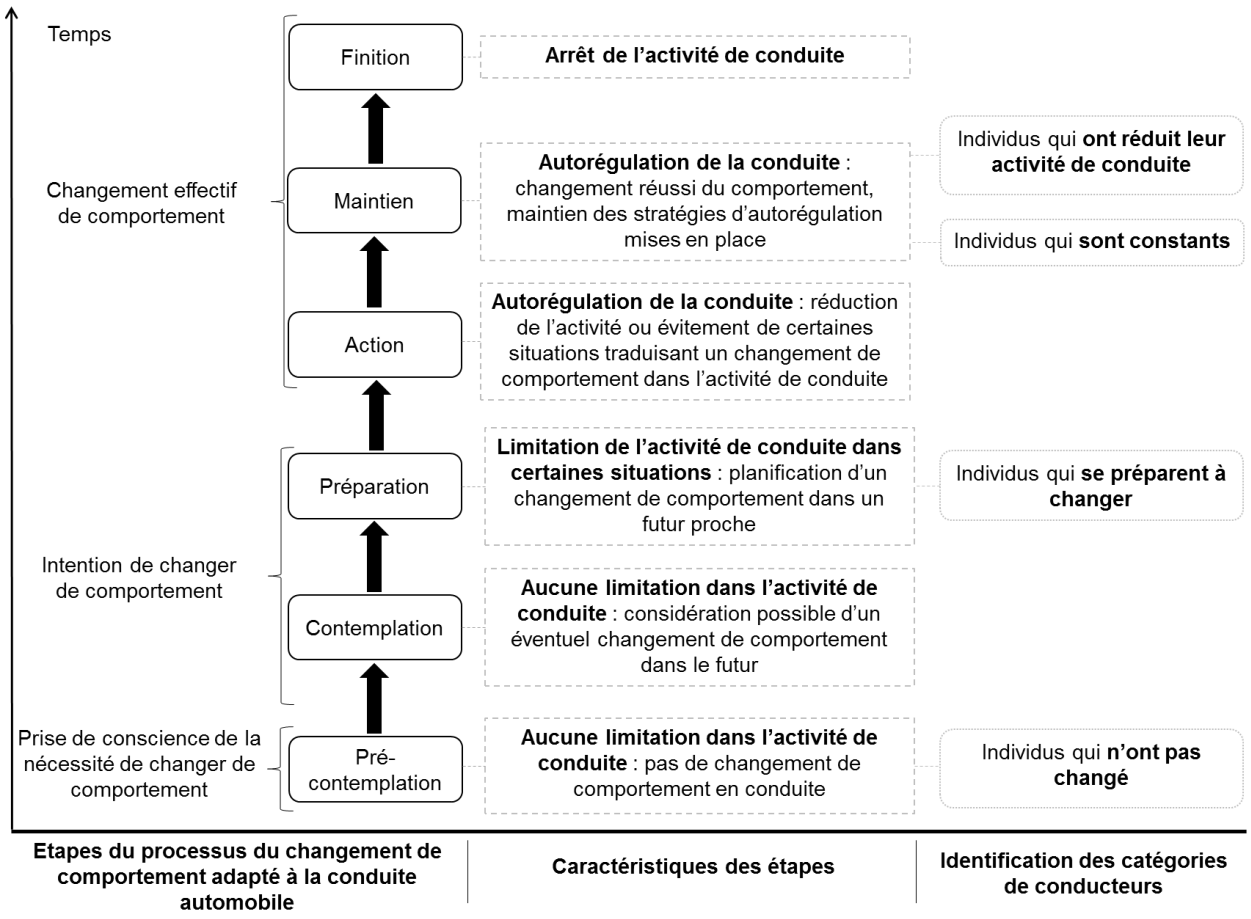
de comportement et le passage de l'étape de pré-contemplation à celle de contemplation ne peuvent avoir lieu que si l'individu est conscient qu'il a besoin de changer de comportement.

Kowalski et collaborateurs ont cherché à déterminer si les étapes qui mènent au changement de comportement du conducteur (c'est-à-dire à la réduction de l'activité, à la mise en place de stratégies d'autorégulation et, finalement, à l'arrêt de la conduite) étaient en adéquation avec le modèle transthéorique. Afin d'identifier ces étapes, 51 conducteurs actifs ou anciens conducteurs, âgés de 71 à 94 ans, ont participé à des groupes de discussion visant à identifier les raisons de leur changement de comportement au volant, ou de l'absence de changement, le cas échéant.

L'analyse des réponses verbales données par les participants au cours de ces entretiens semi-directifs a permis d'identifier quatre catégories de conducteurs, (Figure 12) :

- les individus déclarant avoir **changé leur comportement** de conduite, en lien avec le vieillissement, parmi lesquels se distinguent :
    - i) les conducteurs qui **ont réduit leur activité** (« gradual restrictors ») et qui déclarent avoir changé progressivement leur comportement de conduite en diminuant leur activité avec le temps, jusqu'à l'avoir arrêtée complètement pour certains ;
    - et ii) les conducteurs qui **se préparent** (« preparers »), qui cherchent des alternatives à la conduite pour pouvoir l'arrêter dans un futur proche (ou qui les déclarent pour les ex-conducteurs, par exemple : déménager pour se rapprocher de la ville et de ses commodités ou se familiariser avec les transports publics) et qui n'ont pas forcément réduit leur activité de conduite ;
- et les individus déclarant ne **pas avoir changé de comportement** à cause du vieillissement, parmi lesquels se distinguent :
    - i) les conducteurs **constants** (« consistents ») qui ont toujours utilisé des stratégies d'autorégulation, c'est à dire qu'ils ont réduit leur activité de conduite de manière progressive, tout au long de leur vie mais qu'ils n'en ont pas mis spécifiquement en place en vieillissant,
    - et ii) les conducteurs qui **n'ont pas changé** («non-changers ») qui sont toujours actifs, et qui déclarent ne pas avoir modifié leur comportement avec l'avancée en âge

Figure 12. Représentation du processus d'autorégulation de la conduite au travers du modèle transthéorique du changement, adapté de Kowalski et al., 2014



Pour conclure, cette adaptation du modèle transthéorique du changement de comportement permet d'illustrer les différentes étapes du processus d'autorégulation de la conduite mises en place par les seniors. Cependant, cette étude de Kowalski et collaborateurs (2014) ne décrit pas précisément les facteurs étant à l'origine du changement de comportement des conducteurs, ni comment ces facteurs ont permis aux conducteurs de passer d'une étape à une autre. En effet, les conducteurs ayant restreint ou arrêté de conduire ont simplement déclaré i) être conscients de l'impact du déclin de leurs capacités cognitives ou perceptives sur leur conduite et de la nécessité de changer leur comportement pour éviter les risques sur la route ; et ii) avoir considéré les avantages et les inconvénients aux changements de leurs habitudes de conduite avant de prendre cette décision. Ainsi, des questions subsistent encore à la suite de cette étude, à savoir : comment cette prise de conscience de la nécessité de changer de comportement a-t-elle eu lieu ? Quels facteurs ont été pris en compte dans la balance décisionnelle ayant permis « l'action », le changement de comportement ?

Dans la prochaine partie, un autre modèle séquentiel ayant été utilisé pour illustrer le processus d'autorégulation de la conduite des seniors sera décrit, modèle plus complet, qui permettra de répondre à ces questions.

V.3 Modèle du processus d'adoption du comportement de précaution

Le modèle du processus d'adoption du comportement de précaution (PAPM, « Precaution Adoption Process Model », Weinstein, 1988) a été une première fois utilisé dans le cadre de la conduite automobile pour tenter d'expliquer la mise en place des stratégies d'autorégulation par les conducteurs seniors (Kostyniuk, Molnar, & Shope, 2001). Cette adaptation du PAPM visait à décrire la manière dont les conducteurs seniors faisaient face au déclin de leurs capacités avec l'âge, ainsi que leur propension à changer de comportement au volant de leur voiture en réponse à ce déclin fonctionnel. Cependant, cette adaptation du modèle n'était pas suffisamment détaillée car elle était principalement basée sur la conscience des conducteurs du déclin de leurs capacités et ne prenait pas en compte l'influence de facteurs externes et internes dans le processus d'autorégulation. C'est pourquoi, Hassan et al. (2015) ont réalisé une nouvelle étude afin de compléter les travaux de Kostyniuk et al. (2001).

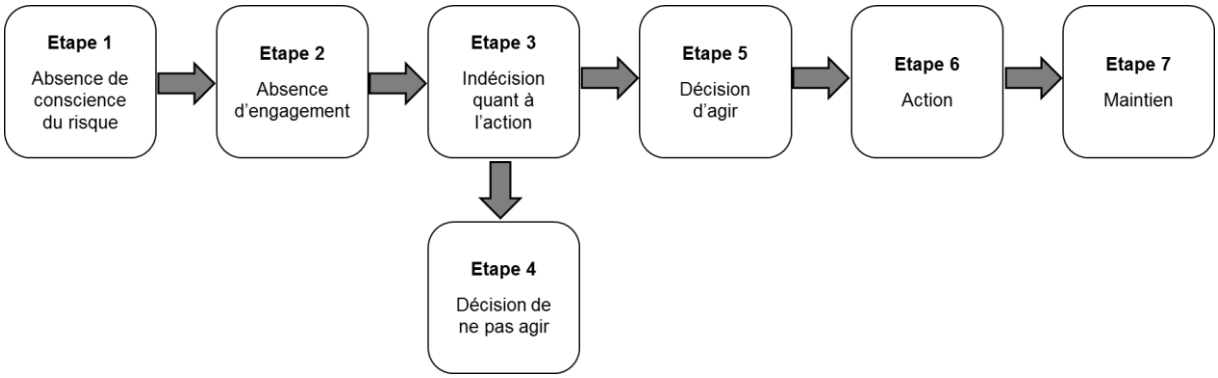
Le PAPM initial, proposé par Weinstein en 1988 (Figure 13), décrit les différentes étapes qui mènent à l'adoption d'un comportement dit « de précaution », par l'individu à la suite de la détection d'un risque ou d'une menace. Par exemple, ce modèle a permis d'étudier l'adoption d'un comportement par les individus lors de la détection de radon dans leur domicile (Weinstein, Lyon, Sandman, & Cuite, 1998), dans le cas du dépistage du cancer colorectal (Costanza et al., 2005), ou encore en cas d'épilepsie (Elliott, Seals, & Jacobson, 2007). Ce comportement de précaution vise à limiter le risque encouru, en étant plus prudent, et/ou en évitant complètement d'être confronté à l'élément ou à la situation risqué(e). Comme le modèle transthéorique, le PAPM repose sur l'idée que l'adoption du comportement de précaution est multifactorielle et séquentielle, et distingue des étapes où l'individu « envisage d'agir » et d'autres où il « agit ». Cependant, Weinstein & Sandman, (1992) ont relevé trois différences majeures entre ces deux modèles. Ils soulignent le fait que, dans le modèle transthéorique du changement :

- l'étape de pré-contemplation, qui se caractérise par l'absence de désir de changement et de perception du problème, ne fait pas la distinction entre les personnes qui n'ont jamais envisagé de changer de comportement et celles qui, après y avoir réfléchi, ont conclu qu'elles ne souhaitaient pas changer ;

- l'étape de contemplation, qui se caractérise par la conscience du risque sans action, regroupe les personnes qui envisagent de changer de comportement sans faire de distinction entre les personnes qui sont encore indécises sur leur choix et celles qui ont déjà décidé d'agir ;

- il n'y a pas d'étape caractérisée par l'absence de conscience du risque.

Figure 13. Représentation des différentes étapes du modèle du processus d'adoption du comportement de précaution, d'après Weinstein, Sandman, & Blalock, 2008



En 2015, Hassan et collaborateurs ont à leur tour utilisé le PAPM comme point de départ pour tenter de mieux comprendre le processus d'autorégulation de la conduite des seniors. Afin de compléter l'adaptation du modèle proposée par Kostyniuk et collaborateurs (2001), ils ont cherché à décrire l'impact des feedbacks (du médecin ou des proches) sur la prise de décision et le comportement de conduite des conducteurs seniors. Vingt-sept conducteurs âgés de 74 à 90 ans ont participé à des groupes de discussion. Les questions posées lors des entretiens semi-directifs visaient à déterminer l'importance de la conduite dans le quotidien des participants ; s'ils avaient conscience de la diminution de leurs capacités de conduite avec l'âge ; s'ils avaient modifié leurs habitudes de conduite au cours des dernières années ; s'ils avaient déjà envisagé d'arrêter de conduire et quel serait l'impact d'une telle décision sur leur qualité de vie ; s'ils avaient reçu des indications sur la nécessité d'arrêter et, si oui, quel avait été l'impact de ces feedbacks sur leur planification et leur prise de décision vis-à-vis de cet arrêt.

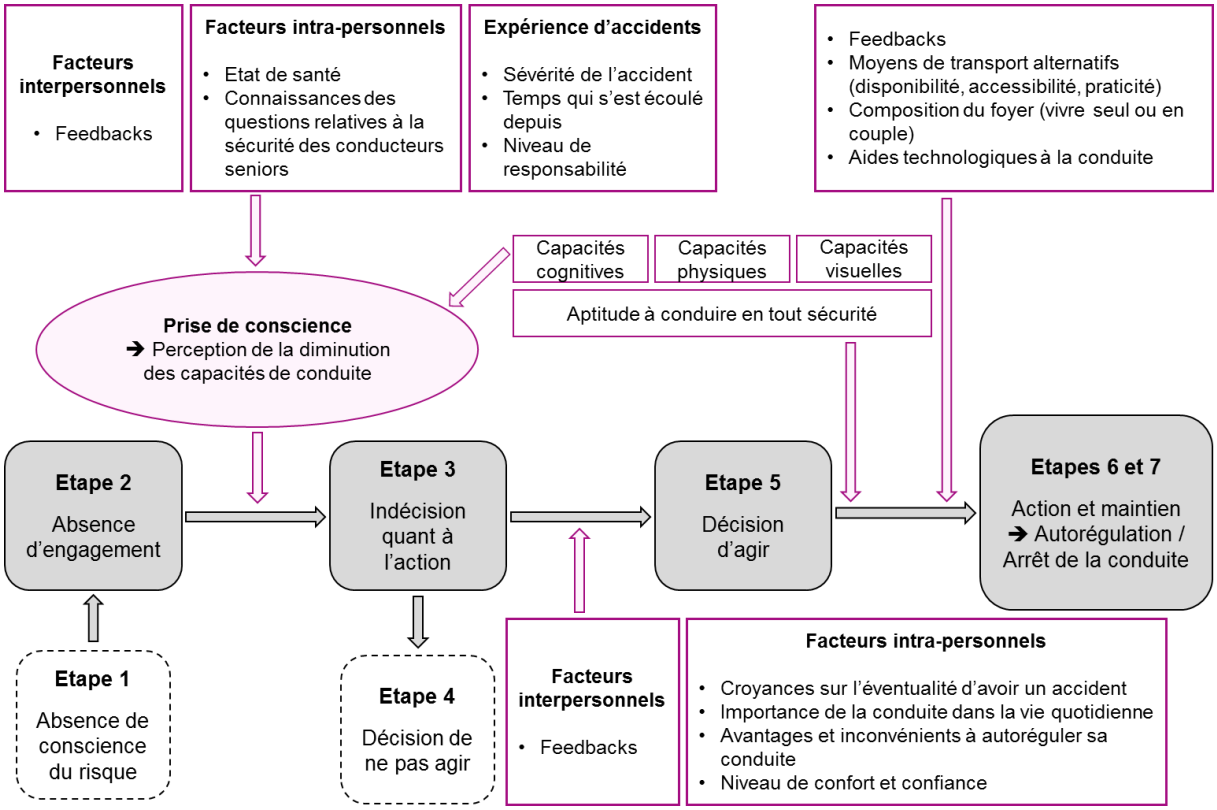
A partir des réponses des participants, les auteurs ont pu apporter des éléments complémentaires au PAPM (Figure 14) afin de décrire le processus d'autorégulation chez les conducteurs seniors, de l'absence de conscience du risque en conduite (Etape 1) jusqu'à la mise en place de stratégies d'autorégulation (Etapes 6 et 7). Les auteurs ont identifié les facteurs clés permettant la transition d'une étape à une autre. Tout d'abord, les auteurs soulignent que la **prise de conscience** des modifications de leurs capacités de

conduite est une condition indispensable pour que les conducteurs s'engagent dans le processus d'autorégulation (transition de l'étape 2 à l'étape 3). Les conducteurs ont besoin de percevoir le risque qu'ils encourent s'ils ne modifient pas leur comportement au volant, ou de sentir l'importance des mesures de précaution, telles que l'évitement de situations de conduite difficiles pour eux-mêmes (Weinstein et al., 2008). Cette prise de conscience des changements des capacités de conduite avec l'âge est permise par des : i) **facteurs intra-personnels** (par exemple : l'état de santé, la perception de leurs capacités, les connaissances générales sur les problèmes de sécurité routière des seniors, etc.) ; ii) **facteurs interpersonnels**, tels que les feedbacks reçus du médecin, des amis ou des membres de la famille sur les déclins liés à l'âge et leurs répercussions sur leurs capacités de conduite (Ackerman et al., 2011 ; Eby et al., 2003 ; Holland & Rabbitt, 1992) ; ou encore iii) les **accidents** que les conducteurs ont pu avoir dans le passé (Lafont et al., 2008).

Ensuite, la transition de l'étape 3 à l'étape 5, c'est-à-dire la décision d'agir, est liée à des **facteurs intra-personnels** et à des **facteurs interpersonnels**. Les facteurs intra-personnels font référence aux croyances et aux attentes des seniors vis-à-vis de leur conduite future. Certains conducteurs décident de réduire la fréquence et l'étendue de leurs déplacements après que les personnes de leur entourage aient eu un accident par exemple. De plus, les conducteurs sont plus enclins aujourd'hui à mettre en place des stratégies d'autorégulation et à modifier leurs habitudes de conduite, pour leur permettre de maintenir cette activité dans des conditions sûres car elle est essentielle pour leur identité et leur bien-être et est un élément majeur de leur indépendance et de leur qualité de vie (Adler & Rottunda, 2006 ; Yassuda, Wilson, & Mering, 1997). La décision d'agir repose également sur la confiance des seniors en leur conduite et sur leur niveau de confort au volant (Ackerman et al., 2011 ; Baldock et al., 2006 ; Marottoli & Richardson, 1998 ; Meng & Siren, 2012). Enfin, les **facteurs interpersonnels** font référence aux feedbacks reçus par les conducteurs de leur entourage, de leur médecin, ou encore d'un moniteur de conduite, s'ils ont repris des cours de conduite auprès d'une auto-école.

Pour finir, la dernière étape est « l'action » à proprement parler, qui consiste en la modification de l'activité de conduite, avec la mise en place des stratégies d'autorégulation pour permettre le maintien de cette activité ou en l'arrêt de la conduite. Le choix de l'action réalisée (le maintien ou l'arrêt de la conduite) est également sous-tendu par les feedbacks reçus mais aussi par des éléments facilitateurs et des freins parmi lesquels se trouvent : i) l'existence de **modes de transport alternatifs** (transports publics, taxis, bus, trains) ; ii) la **composition du foyer** (vivre seul ou en famille) ; ou encore iii) les **aides technologiques** à la conduite (par exemple : système de détection d'angle mort, système d'assistance au changement de voie, etc.).

Figure 14. Représentation du processus d'autorégulation de la conduite au travers du modèle du processus d'adoption du comportement de précaution (PAPM), adapté de Hassan et al., 2015



Pour conclure, l'adaptation du PAPM proposée par Hassan et collaborateurs est plus complète que les modèles présentés précédemment pour illustrer les différentes étapes du processus d'autorégulation de la conduite chez les conducteurs seniors et l'influence des facteurs lors de la transition d'une étape à une autre. Les auteurs soulignent l'importance de la conscience des conducteurs de leurs propres capacités dans l'initiation du processus d'autorégulation. De plus, les feedbacks reçus par les conducteurs jouent également un rôle important dans toutes les étapes de la modification du comportement de conduite (que ce soit dans la prise de décision concernant le choix de modifier ses habitudes de conduite ou dans la mise en place de stratégies d'autorégulation).

VI. Continuum éducatif des seniors, mobilité et sécurité

Ce chapitre a pour objet de décrire les bénéfices et identifier les limites de différents programmes de formation adressés aux conducteurs seniors sur plusieurs continents depuis plusieurs décennies dans le but de maintenir leur mobilité en toute sécurité. Puis, au regard des avantages et des inconvénients de ces différents programmes, des recommandations sur le type de programme à privilégier pour permettre aux seniors de changer leur comportement au volant en mettant en place des stratégies d'autorégulation adaptées à leurs capacités seront formulées. Ces programmes de formation proposés aux conducteurs seniors sont de différentes natures. Parmi eux se distinguent i) les programmes de formation purement théorique, qui consistent en des cours dispensés en salle ou de manière informatisée sur internet, ii) des programmes de formation théorico-pratique, qui consistent en l'association de cours dispensés en salle et d'exercices pratiques de mise en situation réalisés sur simulateur de conduite ou sur route, iii) des programmes utilisant des questionnaires d'auto-évaluation des capacités sensorielles, physiques ou cognitives, iv) des programmes d'entraînement cognitif, et également v) des programmes d'entraînements pratiques basés sur le visionnage de séquences vidéos ou sur des épisodes de conduite sur simulateur.

VI.1 Programmes de formation théorique

Depuis une quarantaine d'années, de nombreux programmes de formation purement théorique ont été adressés aux conducteurs seniors, sous la forme de cours de plusieurs heures dispensés par des professionnels de la route ou par des ergothérapeutes. Au cours de ces programmes, les conducteurs ont reçu des informations relatives aux bonnes pratiques à adopter pour une conduite sécuritaire (telles que le port de la ceinture de sécurité ou le réglage adapté des rétroviseurs, par exemple « CarFit program » ; Stav, 2010), au code de la route (par exemple « Wiser driver course » ; Strain, 2003), aux effets du vieillissement sur les capacités de conduite (par exemple « 55 Alive/Mature Driving program », Bedard, Isherwood, Moore, Gibbons, & Lindstrom, 2004 ; « SAFE », Lindstrom-Forneri, 2009 ; « KEYS », Stalvey & Owsley, 2003) et aux stratégies d'autorégulation à utiliser pour maintenir leur activité de conduite en toute sécurité (par exemple « Driver Safety Program », Skufca, 2008). De nombreuses études ont évalué l'efficacité de ces programmes de formation théorique (voir Korner-Bitensky et al., 2009 ; Kua et al., 2007 pour revues ; Tableau 1).

Ces programmes ont principalement été évalués par des questionnaires visant à déterminer si les conducteurs avaient modifié leur comportement après avoir assisté aux

cours. L'analyse des réponses aux questionnaires a mis en évidence que les formations ciblées sur les effets du vieillissement sur les capacités de conduite facilitaient la prise de conscience et étaient à l'origine de certains changements de comportement de la part des conducteurs. Par exemple, à la suite de ces formations, 50 à 93 % des répondants ont déclaré être plus vigilants, respecter davantage les distances de sécurité, explorer plus la scène visuelle, et avoir réalisé des ajustements sur leur véhicule (Nasvadi, 2007 ; Skufca, 2008 ; Stav, 2010 ; Strain, 2003). En revanche, bien qu'informés sur les stratégies d'autorégulation à mettre en place pour faire face aux effets du vieillissement sur leur conduite, peu de participants ont rapporté éviter les situations de conduite difficiles après avoir suivi le programme de formation (Lindstrom-Forneri, 2009 ; Nasvadi, 2007 ; Nasvadi & Vavrik, 2007 ; Ulleberg, 2006). En revanche, dans le cas où le programme s'adressait spécifiquement aux conducteurs ayant un déficit visuel, les participants ont déclaré avoir pris conscience de leurs problèmes de vue et de leurs effets sur leurs capacités de conduite et mettre en place des stratégies d'évitement à la suite de l'intervention (Owsley, Stalvey, & Phillips, 2003 ; Stalvey & Owsley, 2003). Ainsi, ce résultat révèle bien l'importance de la prise de conscience de ses propres capacités dans l'initiation du changement de comportement et dans la mise en place des stratégies d'autorégulation, tel que rapporté dans le PAPM adapté par Hassan et collaborateurs (2015).

En outre, l'efficacité de ces programmes de formation purement théorique évaluée sur les performances de conduite sur route est apparue limitée et a été peu étudiée. En effet, Bédard et collaborateurs (2004) n'ont pas montré d'amélioration des performances de conduite globales sur la route à la suite de l'intervention, en termes de respect du code de la route, de maniement du véhicule, d'exploration visuelle ou de planification. Seuls Bao & Boyle (2009) ont montré une amélioration de l'anticipation à l'approche des intersections, mise en évidence par des mouvements de têtes plus fréquents et un freinage plus précoce lors de l'arrivée sur l'intersection. Enfin, des enquêtes ont révélé que les participants ayant suivi ces programmes n'étaient pas moins impliqués dans les accidents de la route qu'avant l'intervention ou que des conducteurs contrôles, n'ayant pas participé à ces formations théoriques (Nasvadi & Vavrik, 2007 ; Owsley, McGwin, Phillips, McNeal, & Stalvey, 2004 ; Ulleberg, 2006).

Pour conclure, ces travaux indiquent que les formations purement théoriques sont efficaces pour améliorer les connaissances générales relatives à la conduite et au code de la route, mais ne le seraient pas pour améliorer la sécurité routière. Ces programmes ne visent peut-être pas les bons objectifs : ils sont informatifs mais ne semblent pas permettre aux conducteurs de prendre conscience de leurs capacités. Or, au regard du PAPM adapté à la conduite automobile, décrit par Hassan et collaborateurs (2015), la prise de conscience

des capacités est une étape essentielle pour initier le changement de comportement et la mise en place de stratégies d'autorégulation, afin de garantir une conduite sécuritaire.

Tableau 1. Programmes de formation théorique adressés aux conducteurs seniors

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
« Driver safety program » Etats-Unis	Cours en salle (2x4h) par petits groupes ou sur internet	• Effets de l'âge sur les capacités de conduite • Conseils sur les stratégies d'autorégulation à utiliser pour faire face aux modifications fonctionnelles liées à l'âge	Questionnaire	n = 5404 (> 50 ans)	• 93 % des répondants affirment avoir changé leur comportement au volant (vérification des angles morts, balayage visuel, respect des distances de sécurité)	Skufca et al. 2008
			Evaluation de la conduite sur route	GE, n = 18 GC, n = 17 (>65 ans)	• Amélioration du comportement à l'approche d'une intersection (meilleure anticipation : mouvements de tête plus nombreux et freinage précoce)	Bao & Boyle 2009
« CarFit » Etats-Unis & Canada	Rendez-vous dans un lieu dédié, véhicule personnel	• Ajustements à réaliser dans la voiture pour favoriser le confort et la sécurité (ex : ceinture de sécurité, têtière, rétroviseurs, volant) • Conseils pour adopter un comportement sécure au volant	Questionnaire	n = 54 (> 65 ans)	• 95 % des répondants ont trouvé le programme utile • 74 % en ont discuté avec leur entourage • 70 % ont réalisé un ajustement dans leur véhicule	Stav, 2010
« 55 Alive/Mature Driving program » Canada	Cours en salle (2x3h) par petits groupes	• Informations visant à améliorer la sécurité routière • Informations relatives : à l'auto-évaluation, aux capacités visuelles et auditives, aux situations de conduite normales et dangereuses, au véhicule, à l'influence de la consommation d'alcool et de médicaments sur la conduite, et à la prise de décision du conducteur	Evaluation de la conduite sur route	GE + GC, n = 65 (55-86 ans)	• Pas d'amélioration des performances de conduite sur route après la participation au programme (ex : respect du code de la route, maniement du véhicule, conduite sécuritaire, ou exploration visuelle, planification)	Bédard et al. 2004
			Enquête téléphonique	n = 367 (55-94 ans)	• 94 % des répondants se rappellent d'au moins une chose apprise lors des cours (ex : code de la route, respect des vitesses et distances de sécurité, utilisation des rétroviseurs, prise de conscience des effets de l'âge sur la conduite) • >70 % des répondants déclarent avoir changé au moins un aspect de leur comportement au volant (ex : vigilance, balayage visuel) • <10 % des répondants déclarent avoir modifié leur stratégies d'autorégulation (ex : situation de « tourne-à-gauche » plus évitée)	Nasvadi, 2007

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle.

Tableau 1. Programmes de formation théorique adressés aux conducteurs seniors (suite)

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
« 55 Alive/Mature Driving program » Canada (suite)			Comparaison des accidents avant et après la participation au programme et entretiens lors de groupes de discussion	Enquête : n = 884 (âge moyen hommes : 76.6 ans, femmes : 75,5 ans) Groupes de discussion : n = 25 hommes (> 75 ans)	• Pas de diminution de l'implication dans des accidents de la route après participation au programme et même augmentation pour les hommes (>75ans) ayant suivi le programme • Ces participants n'ont pas mis en place de stratégies d'autorégulation (stratégies compensatoires ou d'évitement de situations difficiles), ont moins retenu les informations présentées dans le programme et étaient globalement moins motivés	Nasvadi et Vavrik, 2007
« Wiser driver course » Australie	Cours dispensés en salle pendant 1 mois (2h par semaine)	• Informations visant à changer le comportement des conducteurs • Informations relatives au véhicule, au code de la route, aux effets du vieillissement sur la conduite, à la sécurité des piétons, aux accidents, et aux stratégies d'autorégulation	Questionnaire	n = 151 (60-85 ans, avec une grande majorité ayant entre 75 et 79 ans)	• Au moins 51 % des répondants ont changé leur comportement suite à leur participation au programme • Changements : amélioration de la prise de conscience, identification de difficultés en conduite, meilleure gestion de situations difficiles par la mise en place de stratégies d'autorégulation, changement d'attitude (meilleure tolérance, concentration et prudence), et amélioration des connaissances relatives au code de la route	Strain 2003
« Bilfører 65+ » Norvège	Cours dispensé en salle	• Conseils donnés pour faire face aux difficultés exprimées par les conducteurs seniors • Ex : ronds-points, priorités, marquage au sol, circulation sur autoroute, compréhension des panneaux, utilisation des feux, dépassements, réglementation en vigueur sur les parkings	Questionnaire et journal de bord	GE, n = 1450 GC, n = 1900 (>65 ans)	• Pas de diminution significative du risque d'accident pour le GE par rapport au GC • Pas de changements dans les habitudes de conduite pour le GE (pas d'autorégulation de la conduite)	Ullberg, 2006

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle.

Tableau 1. Programmes de formation théorique adressés aux conducteurs seniors (suite et fin)

Programme	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
KEYS « Knowledge Enhances Your Safety » Etats-Unis et Australie	Cours dispensés en salle (2 séances de 2h avec 1 mois d'intervalle)	• Sensibilisation aux risques routiers dus à une diminution de l'acuité visuelle • Informations relatives aux stratégies d'autorégulation à mettre en place pour limiter la prise de risque sur la route	Enquête téléphonique (Questionnaires), 6 mois après l'intervention	GE, n = 194 GC, n = 171 (>60 ans) Conducteurs avec déficit visuel	• Amélioration de la prise de conscience des problèmes de vue et des difficultés en conduite dues à ces problèmes • Mise en place de davantage de stratégies d'autorégulation (évitement) à la suite de l'intervention • Diminution de la fréquence des déplacements	Owsley et al. 2003 Stalvey & Owsley, 2003
			Enquête téléphonique (Questionnaires) 6, 12, 18 et 24 mois après l'intervention	GE, n = 197 GC, n = 176 (>60 ans) Conducteurs avec déficit visuel	• Durabilité des effets à 12, 18 et 24 mois • Pas de diminution du taux d'accidents à la suite de l'intervention	Owsley et al. 2004
SAFE « Safety Awareness for Elderly Drivers » Canada	Manuel d'informations + Cours dispensé en salle (2 séances de 2h)	• Généralités sur le risque d'accident et l'impact du vieillissement sur la conduite • Introspection des individus pour permettre une prise de conscience de leurs capacités Informations relatives aux stratégies compensatoires et à la manière de surmonter les difficultés	Questionnaires (post-intervention et à 2 mois)	GE, n = 22 GC, n = 25 (recevant le manuel seul) (70-88 ans)	• Pas plus d'amélioration des connaissances relatives à la sécurité routière, ou de la conscience de ses propres capacités, ni de l'intention de changer de comportement au volant pour le GE par rapport au GC • Effets non durables dans le temps (après 2 mois)	Lindstrom-Forneri, 2009

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle.

VI.2 Programmes de formation théorico-pratique

Afin d'augmenter leur efficacité et d'améliorer la sécurité des conducteurs seniors, ces programmes de formation théorique ont été associés à un exercice pratique de conduite (Tableau 2). Ils consistaient à la fois i) en la participation à des cours dispensés en salle, dont le contenu était relatif à la sécurité routière et aux comportements à risque et aux bonnes pratiques à respecter pour garantir un comportement sécuritaire ; et ii) à la réalisation d'un épisode de conduite sur simulateur ou sur route, associé à des commentaires, des feedbacks donnés au conducteur par le moniteur d'auto-école ou par l'expérimentateur sur les erreurs commises (Bédard et al., 2008 ; Lavallière, Simoneau, Tremblay, Laurendeau, & Teasdale, 2012 ; Marottoli et al., 2007).

Ce type d'intervention a été efficace pour améliorer les connaissances générales relatives à la sécurité routière et au code de la route (Bédard et al., 2008 ; Korner-Bitensky et al., 2009 ; Marottoli et al., 2007). De plus, les études ayant évalué l'efficacité de ces programmes théorico-pratiques sur route ont mis en évidence une amélioration de l'exploration visuelle, des vérifications dans les rétroviseurs et angles morts plus fréquentes (Marottoli et al., 2007), d'une meilleure adaptation de la vitesse et du maintien de la trajectoire (Bédard et al., 2008) à la suite de l'intervention. En outre, la combinaison d'un entraînement à la vérification des angles morts sur simulateur associé à des feedbacks spécifiques sur les performances a été bénéfique pour améliorer les stratégies de vérification visuelles lors des changements de voie réalisés sur route des conducteurs seniors (Lavallière et al., 2012).

L'association d'un programme de formation théorique et d'un exercice pratique de conduite est plus efficace que les interventions théoriques proposées seules, mais elle est également plus coûteuse. De plus, en accord avec le modèle d'Hassan et collaborateurs, ces travaux attestent de l'importance des feedbacks reçus par les conducteurs sur leurs performances pour les aider à modifier leur comportement au volant.

Tableau 2. Programmes de formation théorico-pratique adressés aux conducteurs seniors

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
Driver improvement Program Etats-Unis	Cours en salle (6-8h) + Evaluation initiale de conduite avec un moniteur puis 2 séances d'1h avec un autre moniteur	• Informations relatives aux risques en conduite (comportements à risque, consommation d'alcool et de médicaments, conduite agressive) et rappels du code de la route • Séance 1 : Feedbacks personnalisés sur les erreurs commises lors de l'évaluation initiale • Séance 2 : Bilan des erreurs commises par les conducteurs seniors et rappels des principaux points abordés lors de ce programme (ex : position du siège, ajustement des rétroviseurs, perception visuelle, contrôle de la vitesse, distances de sécurité, etc)	Questionnaire évaluant les connaissances relatives à la sécurité routière + Evaluation de la conduite sur route	GE, n = 69 GC, n = 57 (>75 ans)	• Amélioration des connaissances relatives au code de la route • Amélioration des performances de conduite sur route (ex : balayage visuel, vérification dans les rétroviseurs et angles morts, virages à droite et à gauche)	Marottoli et al. 2007
55 Alive/Mature Driving program Canada	Cours en salle (2 séances de 3 à 4h) dispensés par des moniteurs + Entraînement à la conduite sur route (2 séances de 30-40 min)	• Informations visant à améliorer la sécurité routière • Informations relatives : à l'auto-évaluation, aux capacités visuelles et auditives, aux situations de conduite dangereuses, au véhicule, à l'influence de la consommation d'alcool et de médicaments sur la conduite, et à la prise de décision du conducteur • Conduite commentée par un moniteur de conduite permettant au conducteur d'avoir des retours sur leurs habitudes de conduite	Questionnaire évaluant les connaissances relatives à la sécurité routière + Evaluation de la conduite sur route (4 à 8 semaines après l'intervention)	GE, n = 38 GC, n = 37 (65-87 ans)	• Amélioration des connaissances relatives à la sécurité routière • Diminution du nombre d'erreurs commises lors de l'évaluation de conduite sur route, en termes de freinage et de déplacements sur la chaussée	Bédard et al. 2008
	Cours en salle (40 min) + Entraînement à la conduite sur simulateur (3 séances de 25 min, réparties sur deux semaines)	• Informations sur la régulation du trafic et sur la vérification effectuée dans les rétroviseurs et angles morts lors d'un changement de voie • Entraînement au contrôle visuel lors de changements de voie (avec des feedbacks personnalisés pour les participants du groupe expérimental)	Evaluation de la conduite sur simulateur et sur route	GE (avec feedbacks) n = 10 GC (sans feedbacks) n = 12 (65-85 ans)	• Augmentation de la fréquence de vérification dans les angles morts avant les changements de voie à la suite de l'intervention pour GE par rapport à GC	Lavallière et al. 2012

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle.

VI.3 Outils basés sur l'auto-évaluation et la prise de conscience des capacités

Des outils d'auto-évaluation sous forme de questionnaires (Eby et al., 2003 ; Molnar, Eby, Kartje, & St Louis, 2010) ou de batteries de tests auto-administrés (Crisler et al., 2013 ; Jones Ross, Cordazzo, & Scialfa, 2014 ; Porter & Tuokko, 2011 ; Scialfa, Ference, Boone, Tay, & Hudson, 2010), ou encore des outils de sensibilisation aux effets de l'âge sur les capacités, sous forme de capsules éducatives (Levasseur et al., 2015) ont été proposés aux conducteurs seniors afin de les aider à prendre conscience de leurs capacités (Tableau 3). Plus de la moitié des participants déclarent avoir trouvé que la batterie de tests auto-administrée était un outil utile pour initier les discussions relatives à la conduite avec leur entourage ou les professionnels de santé, et 75 à 90 % des participants ont déclaré qu'elle leur avait permis d'améliorer la prise de conscience de leurs capacités (Crisler et al., 2013 ; Porter & Tuokko, 2011). De plus, près de la moitié des participants a déclaré avoir réalisé des exercices physiques pour assouplir la nuque et les membres supérieurs avant de prendre le volant et être plus vigilants sur la route depuis l'intervention (Porter & Tuokko, 2011) et près de 70 % des participants ont déclaré être prêts à suivre un entraînement pour améliorer leurs performances aux tests (Crisler et al., 2013). En outre, les résultats de travaux ayant cherché à déterminer le lien entre les performances obtenues aux tests et les performances de conduite sur route ont montré que les scores à la batterie de tests étaient prédictifs des infractions ou du non-respect du code de la route par les participants (Jones Ross et al., 2014). En revanche, les scores à la batterie de tests n'étaient pas prédictifs du risque d'accident (Scialfa et al., 2010).

Concernant les questionnaires auto-administrés, 75 % des conducteurs ont déclaré avoir davantage conscience des changements de leurs capacités de conduite apparaissant avec l'âge (Eby et al., 2003 ; Molnar et al., 2010) et 14 à 85% d'entre eux se sont rendus compte de changements qu'ils ne soupçonnaient pas auparavant grâce à ces questionnaires (Eby et al., 2003 ; Levasseur et al., 2015 ; Molnar et al., 2010). De plus, 30 à 50 % des participants se sont dits plus enclins à discuter des difficultés rencontrées en conduite avec leur entourage ou leur médecin (Eby et al., 2003 ; Levasseur et al., 2015 ; Molnar et al., 2010) et 30 à 40 % ont déclaré songer à reprendre des cours de conduite (Eby et al., 2003 ; Molnar et al., 2010). Enfin, plus de 75 % des participants ont déclaré avoir mis en place des stratégies d'autorégulation comme augmenter leurs distances de sécurité, effectuer des contrôles dans les rétroviseurs ou les angles morts plus fréquemment ou encore éviter de conduire aux heures de pointe (Levasseur et al., 2015).

Pour conclure, le principal avantage révélé par ces différents outils d'auto-évaluation est qu'ils obligent les conducteurs à avoir une réflexion sur leurs propres capacités, pouvant les mener à modifier leur comportement au quotidien (Kua et al., 2007). De plus, les questionnaires apparaissent être plus efficaces que les batteries de tests auto-administrés pour favoriser la mise en place de stratégies d'autorégulation. Cependant, les résultats présentés dans ces différentes études sont issus de données subjectives et certains conducteurs peuvent avoir une conscience erronée de leurs capacités et présenter ainsi un biais de calibration (Horrey et al., 2015). De fait, il apparaît nécessaire de parvenir à identifier spécifiquement ces individus pour les aider à mieux se calibrer en leur faisant prendre conscience de leurs capacités réelles, et leur permettre ainsi de s'engager dans un processus d'autorégulation de leur conduite adapté à leurs capacités.

Tableau 3. Outils basés sur l'auto-évaluation et la prise de conscience des capacités adressés aux conducteurs seniors

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
Roadwise Review (RR) Canada	Batterie de tests (en ligne ou sur CD-ROM)	• Auto-évaluation des capacités cognitives et physiques en lien avec la conduite • Onze tests, évaluant : l'acuité visuelle, la marche à un rythme soutenu, les mouvements de la tête et du cou, la mémoire, l'attention visuelle, la vitesse de traitement et la flexibilité mentale	Etude du lien entre les performances à la batterie de tests du RR, le comportement au volant (réponses au « Driver Behavior Questionnaire ») et le risque d'accident (réponses au « Driver Experience Questionnaire »)	n = 73 (50-88 ns)	• Scores à la batterie de tests non prédictifs du risque d'accident	Scialfa, 2010
			Questionnaires complétés immédiatement après le test et deux semaines plus tard	n = 96 (67-91 ans)	• 98 % des participants recommandent la passation de cette batterie aux autres conducteurs • 95 % des participants trouvent cet outil utile pour initier les discussions autour de la conduite avec leur entourage • 91 % des participants déclarent être davantage conscients des changements pouvant affecter leur conduite • >50 % des participants déclarent avoir pris conscience de difficultés qu'ils ne soupçonnaient pas auparavant • 50 % des participants ont modifié leur comportement après deux semaines (ex : réalisation d'exercices physiques pour améliorer la souplesse de la nuque et des membres supérieurs, augmentation du niveau de vigilance et de la prudence au volant)	Porter & Tuokko, 2011
			Evaluation de la conduite sur route	n = 65 (56-89 ans)	• Scores à la batterie de tests non prédictifs du nombre d'erreurs de conduite réalisées lors de l'évaluation • Scores à la batterie prédictifs de l'échec lors de l'évaluation de conduite (un échec étant défini par le fait d'avoir commis une erreur grave ou infraction, telle que : refus de priorité, non-respect d'un feu, excès de vitesse, etc)	Jones et al. 2014

Tableau 3. Outils basés sur l'auto-évaluation et la prise de conscience des capacités adressés aux conducteurs seniors (suite)

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
DrivingHealth® Inventory Etats-Unis	Batterie de tests informatisée (45min)	• Mesures de l'acuité visuelle, de la force musculaire et de la mobilité, de la souplesse de la tête et du cou, de la mémoire, de la vitesse de traitement et de l'attention visuelle	Questionnaire	n = 360 (50-93 ans)	• >75 % des participants déclarent que cet outil leur a permis de prendre conscience leurs capacités de conduite • 88 % des participants le recommanderaient à leurs amis • 69 % des participants seraient prêts à suivre un entraînement pour améliorer leurs performances aux tests • > 48 % des participants sont plus enclins à discuter des questions relatives à la conduite avec leur médecin, d'autres professionnels de santé, ou les membres de leur famille	Crisler et al. 2013
Driving Decisions Workbook Etats-Unis	Livret d'auto-évaluation (30 min	• 5 sections évaluant 37 items différents (relatifs à la santé et aux capacités de conduite)	Questionnaire + Evaluation de la conduite sur route	n = 99 (55 ayant entre 65 et 74 ans + 44 ayant >75 ans)	• 75 % des participants rapportent avoir davantage conscience des changements apparaissant avec l'âge et impactant leur conduite • 14 % des participants déclarent avoir pris conscience de changements qu'ils ne soupçonnaient pas avant • 40 % des participants songent à la possibilité de reprendre des cours de conduite • >30 % des participants sont prêts à consulter un médecin afin de faire un bilan de leur vision, de leur cognition et de leurs capacités psychomotrices • La majorité des participants trouvent que ce livret facilite la discussion avec leurs proches sur les difficultés rencontrées en conduite • Les réponses aux questions sont corrélées aux performances de conduite sur route	Eby et al. 2003

Tableau 3. Outils basés sur l'auto-évaluation et la prise de conscience des capacités adressés aux conducteurs seniors (suite et fin)

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
SAFER driving Etats-Unis	Outil d'auto-évaluation informatisé	• Parmi les points abordés : 27 concernent la santé (ex : acuité visuelle, déficits d'attention visuelle, dépression, somnolence, douleur, anxiété, etc) et 15 concernent les situations de conduite difficiles (ex : tourner en intersection, dépassement, changement de voie, etc.), • Feedbacks individualisés visant à améliorer la prise de conscience du déclin des capacités de conduite avec l'âge • Informations relatives aux stratégies d'autorégulation à adopter pour maintenir l'activité de conduite en toute sécurité	Questionnaire + Evaluation de la conduite sur route	n = 68 (>65 ans)	• 75 % déclarent être davantage conscients des changements de leur conduite avec l'âge • >30 % déclarent avoir pris conscience de changements • <40 % sont prêts à modifier leur comportement sur la route • 33 % songent à reprendre des cours de conduite • >50 % sont plus enclins à discuter de leur conduite avec leur médecin • Corrélation significative entre les résultats aux tests d'auto-évaluation et les performances de conduite sur route : plus les participants expriment de problèmes de santé, plus leurs capacités de conduite sont faibles et plus leurs performances de conduite sur route sont basses	Molnar et al. 2010
OSCAR Canada	Outil d'auto-évaluation	• 15 questions ciblées sur les capacités visuelles et 15 conseils en lien avec le vieillissement et la conduite, présentés sous forme de capsules éducatives	Questionnaires (complétés 8 à 10 semaines post-intervention)	n = 48 (67-84 ans)	• Augmentation de l'intérêt porté à la conduite automobile et aux discussions relatives à ses propres capacités et à la mise en place de stratégies compensatoires • Amélioration des connaissances relatives à la sécurité routière et aux capacités requises pour une conduite sécuritaire • >85 % ont pris conscience de changements dans leurs capacités (ex : difficultés à rester vigilant si fatigue ou douleur présente, difficultés à estimer les distances et les vitesses des autres véhicules) • >75 % déclarent avoir mis en place des stratégies d'autorégulation (ex : augmentation des distances de sécurité, des contrôles dans les rétroviseurs et angles morts, évitement de la conduite aux heures de pointe).	Levasseur et al. 2015

SAFER : Self Awareness and Feedback for Responsible Driving. OSCAR : Outil de Sensibilisation des conducteurs âgés aux capacités requises pour une Conduite Automobile sécuritaire et Responsable.

VI.4 Entraînement cognitif seul

Le Chapitre III a mis en évidence que la conduite automobile était une tâche complexe faisant appel aux capacités cognitives, motrices et perceptives. Le déclin avec l'âge des fonctions cognitives telles que les capacités attentionnelles, la mémoire, les fonctions exécutives peut entraîner des difficultés dans la réalisation d'activités de la vie quotidienne telles que la conduite automobile. Par exemple, i) l'altération des capacités d'attention divisée peut entraîner des difficultés pour la réalisation d'une double tâche (comme conduire et régler l'autoradio ou discuter avec un passager) ; ii) l'altération des capacités d'attention sélective peut entraîner des difficultés pour sélectionner les informations pertinentes pour la tâche de conduite et inhiber celles qui ne le sont pas ; iii) l'altération des fonctions exécutives et de la mémoire de travail peut entraîner des difficultés pour mettre à jour les informations, prendre des décisions et planifier les actions à réaliser ; et iv) l'altération des capacités psychomotrices peut provoquer une diminution de la vitesse de traitement de l'information et une augmentation du temps de réaction face à un événement imprévu (voir Anstey et al., 2005 ; Simoes, 2003 pour revues).

Plusieurs auteurs ont évalué l'efficacité de programmes d'entraînement cognitif sur les performances cognitives en lien avec l'activité de conduite (Tableau 4). L'entraînement de la vitesse de traitement a permis à des conducteurs présentant un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information visuelle d'améliorer leur temps de réaction et leurs performances d'attention visuelle évaluées par le test de l'UFOV® (Roenker, Cissell, Ball, Wadley, & Edwards, 2003). Les auteurs ont également observé un transfert des bénéfices de cet entraînement de la vitesse de traitement sur les performances de conduite sur route, mis en évidence par une diminution du nombre de manœuvres dangereuses et un comportement plus sécure lors des changements de voie, et une durabilité des effets de l'entraînement à 18 mois. L'entraînement de la vitesse de traitement permet également un maintien de l'activité de conduite. En effet, les conducteurs présentant un déclin de leurs capacités d'attention visuelle ayant été entraînés sont aussi mobiles, en termes de fréquence des déplacements, que les participants du groupe contrôle ne présentant pas ce déclin, trois ans et même cinq ans après l'entraînement (Edwards, Myers, et al., 2009 ; Edwards, Delahunt, & Mahncke, 2009 ; Ross et al., 2015). Parallèlement au maintien de leur mobilité, les conducteurs ayant suivi l'entraînement de la vitesse de traitement présentaient un taux d'accidents responsables et un risque d'accident responsable plus faibles que les conducteurs contrôles, sur une période de 6 ans après l'intervention (Ball, Edwards, Ross, & McGwin, 2010).

Outre la vitesse de traitement, d'autres capacités cognitives ont également été entraînées chez les conducteurs seniors. Les chercheurs se sont intéressés au transfert des bénéfices de ces différents programmes d'entraînement cognitif sur les performances de conduite et sur la mobilité des seniors (Cassavaugh & Kramer, 2009 ; Dobres et al., 2013 ; Gaspar, Neider, Simons, McCarley, & Kramer, 2012 ; Marmeleira, Godinho, & Fernandes, 2009 ; Mayhew, Robertson, & Vanlaar, 2014 ; Sorenson, 2012). En 2009, Marmeleira et collaborateurs ont évalué l'efficacité d'un programme d'entraînement alliant à la fois des exercices physiques et des exercices cognitifs stimulant la prise de décision, l'anticipation, et la planification. Ce programme de 36 heures réparties sur trois mois a amélioré la vitesse de traitement en simple et en double tâche, mais n'a pas amélioré les capacités d'attention divisée, sélective, ni les fonctions exécutives. Afin de stimuler davantage les fonctions cognitives sollicitées lors de la tâche de conduite, d'autres auteurs ont proposé des programmes cognitifs informatisés plus complets, ciblant l'attention divisée, la mémoire, l'exploration visuelle, les fonctions exécutives ou encore la mémoire de travail. Ces études ont montré une efficacité limitée de ce type d'entraînement sur les capacités cognitives et sur les performances de conduite sur route, sûrement due à un entraînement de trop courte durée. Par exemple, en 2009, Cassavaugh et Kramer ont évalué l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif ciblant les capacités d'attention visuelle et la mémoire de travail, d'une durée totale de 12 heures, réparties sur environ une semaine, sur les performances de conduite sur simulateur. Les auteurs ont montré une amélioration des performances de conduite en situation de double tâche, mise en évidence par une diminution du temps de réaction au freinage du véhicule qui précédait. Néanmoins, l'absence de groupe contrôle dans cette étude limite l'interprétation des résultats. En effet, cette amélioration peut être due à un effet test-retest. Plus récemment, différents auteurs ont évalué l'efficacité d'un programme appelé « DriveSharp », qui consistait à entraîner la vitesse de traitement, l'attention sélection et la détection d'éléments dans le champ visuel pendant 8 à 10 heures sur une période de cinq semaines. Ce programme a été efficace pour améliorer la vitesse de traitement et les capacités d'attention divisée et sélective, mais pas les fonctions exécutives ni les performances de conduite sur route ou sur simulateur (Dobres et al., 2013 ; Sorenson, 2012 ; Staplin, Lococo, Brooks, & Srinivasan, 2013). Enfin, le programme « CogFit », d'une durée de 16 heures réparties sur deux mois, visait à entraîner l'attention divisée, la mémoire, l'exploration visuelle ainsi que les fonctions exécutives. L'efficacité de ce programme a été évaluée sur les performances de conduite sur simulateur (Gaspar et al., 2012). Les auteurs n'ont pas montré d'amélioration du temps de réaction face à des événements dangereux à la suite de l'entraînement, ni des performances de conduite sur l'autoroute.

Pour conclure, les différents types d'entraînement cognitif proposés aux conducteurs seniors sont efficaces pour améliorer les capacités attentionnelles et la vitesse de traitement. Néanmoins, l'efficacité de ces entraînements réalisés seuls est limitée pour améliorer les fonctions exécutives ainsi que les performances de conduite, que ce soit sur simulateur ou sur route. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces résultats. Tout d'abord, il est possible que ces entraînements soient de trop courte durée. D'après de récents travaux, pour être efficace, l'entraînement cognitif doit être effectué sous forme de séances de 30 à 60 minutes plusieurs fois par semaine pendant environ trois mois (Bherer, 2015 ; Lampit et al., 2014). De plus, bien que faisant appel aux mêmes fonctions cognitives, les exercices réalisés lors de ces entraînements semblent trop éloignés de la tâche cognitive, sensorielle et motrice complexe qu'est la conduite automobile. Afin de permettre un meilleur transfert des apprentissages, des programmes d'entraînements pratiques à la conduite, utilisant le simulateur ou reposant sur des enregistrements vidéos ont été adressés aux conducteurs seniors. Les résultats de ces différentes études sont présentés dans la prochaine partie.

Tableau 4. Programmes d'entraînement cognitif adressés aux conducteurs seniors

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
- Etats-Unis	Entraînement cognitif informatisé	• Entraînement de la vitesse de traitement • L'entraînement se termine lorsque le participant a atteint le critère de 75 % de réussite	Test de l'UFOV® + Evaluation de la conduite sur simulateur (tâches de temps de réaction simple et à choix) + Evaluation de la conduite sur route (environ 1h) Ces évaluations ont eu lieu 2 semaines et 18 mois après l'intervention	GE, n = 48 conducteurs avec déclin des capacités d'attention visuelles GC ayant suivi un entraînement sur simulateur de conduite, n = 22 conducteurs avec déclin des capacités d'attention visuelles GC passif, n = 25, sans déclin visuel (55-86 ans) A 18 mois : GE, n = 28 GC simulateur, n = 14 GC passif, n= 18	• Amélioration des performances à l'UFOV® et du temps de réaction lors de la tâche à choix multiples immédiatement après l'intervention pour GE par rapport à GC simulateur • Amélioration des performances de conduite sur route immédiatement après l'intervention (moins de manœuvres dangereuses) pour GE et GC simulateur • Comportement plus sécure lors des changements de voie, uniquement pour GE • Amélioration de l'utilisation du clignotant, meilleur choix de file en intersection et meilleur positionnement sur la voie, uniquement pour GC simulateur • Durabilité de tous les effets de l'entraînement à 18 mois pour GE et durabilité des effets à 18 mois uniquement pour le choix de file en intersection et le positionnement sur la voie, pour GC simulateur	Roenker et al 2003

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle.

Tableau 4. Programmes d'entraînement cognitif adressés aux conducteurs seniors (suite)

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
- Etats-Unis	Entraînement cognitif informatisé (10 séances d'une heure, deux fois par semaine pendant 5 semaines)	• Entraînement de la vitesse de traitement	Test de l'UFOV® (immédiatement après l'intervention + Questionnaire relatifs aux habitudes de conduite et à la mobilité (3 ans après l'intervention)	GE, n = 276 GC, n = 274 (âge moyen = 75 ans)	• Amélioration des performances d'attention visuelle à la suite de l'entraînement • Maintien de la mobilité à trois ans : GE moins enclin à arrêter de conduire que GC	Edwards Delahunt & Mahncke 2009b
			Questionnaire relatifs aux habitudes de conduite et à la mobilité (3 ans après l'intervention)	GE, n = 66 conducteurs avec déclin des capacités d'attention visuelles GC, n = 68 conducteurs sans déclin des capacités visuelles (>60 ans)	• Maintien de l'activité de conduite à trois ans (étendue des déplacements et exposition à des situations de conduite difficiles de GE équivalents à GC) • Mais présence de difficultés pour conduire seul, changer de voie et tourner à gauche	Edwards,Myers, Ross et al 2009a
			Questionnaire relatifs aux habitudes de conduite et au taux d'accident (complété immédiatement après l'intervention, puis 1, 2, 3 et 5 ans après)	GE, n = 179 GC, n = 409 (65-91 ans)	• Taux d'accident plus faible par année de conduite pour GE par rapport à GC	Ball et al 2010
	Entraînement cognitif informatisé (10 séances d'une heure, deux fois par semaine pendant environ 6 semaines + 1 à 8 séances de « rappel » pour certains participants)		Questionnaire relatifs aux habitudes de conduite et au taux d'accident (complété immédiatement après l'intervention, puis 1, 2, 3 et 5 ans après)	GE, n = 598 GC actif, réalisant un autre type d'entraînement, n = 610 GC passif, n = 598 (>65 ans)	• Augmentation de la fréquence des déplacements à cinq ans avec la durée de l'entraînement	Ross et al 2015

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle.

Tableau 4. Programmes d'entraînement cognitif adressés aux conducteurs seniors (suite)

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
- Portugal	Entraînement cognitif et physique (séances d'une heure, trois jours par semaine pendant 12 semaines, soient 36h au total)	• Exercices d'aérobic et de fitness associés à des exercices de planification, de prise de décision, d'anticipation	Evaluation des capacités physiques (tests psychomoteurs) Evaluation cognitive (temps de réaction en simple et double tâches, UFOV®, flexibilité mentale, résistance à l'interférence)	GE, n = 16 GC, n = 16 (> 60 ans)	• Amélioration des performances aux tests psychomoteurs • Amélioration du temps de réaction en simple et en double tâche • Amélioration de la vitesse de traitement visuelle • Pas d'amélioration de la flexibilité mentale, de la résistance à l'interférence, des performances d'attention visuelle divisée ou sélective	Marmeleira, 2009
Drivesharp Etats-Unis	Logiciel d'entraînement cognitif (10h : 1h par jour, 5 jours par semaine pendant 2 semaines)	• Trois exercices ciblés sur la vitesse de traitement de l'information, l'attention sélective et la détection d'éléments dans le champ visuel	Evaluation cognitive (Trail Making Test, UFOV®, test de matrices progressives de Raven)	GE, n = 16 GC, n = 16 (60-75 ans)	• Amélioration de la vitesse de traitement et de l'attention sélective • Pas d'amélioration de l'attention divisée ni de l'intelligence fluide	Sorenson et al 2012
			Evaluation cognitive (test des réseaux attentionnels, UFOV®) + Evaluation de la conduite sur route (en simple et double tâches, sur autoroute)	GE, n = 16 GC, n = 16 (60-75 ans)	• Amélioration de l'attention divisée • Pas d'amélioration des performances de conduite sur route à la suite de l'entraînement	Dobres et al 2013
			Comparaison du programme Drivesharp avec une intervention théorico-pratique ; un entraînement ciblé sur capacités d'attention visuelle ; et un entraînement physique Evaluation de la conduite sur route et sur simulateur	n total = 80 conducteurs (répartis en sept groupes) 4 GE, n = 15, 15, 16 et 17 GC actif n = 17 (exercices de relaxation / informations sur la santé et le bien-être) (64-85 ans)	• Pas d'amélioration des performances de conduite ni sur simulateur, ni sur route	Staplin et al 2013

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle..

Tableau 4. Programmes d'entraînement cognitif adressés aux conducteurs seniors (suite et fin)

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
- Etats-Unis	Entraînement cognitif informatisé (trois conditions en simple tâche puis six conditions en double tâche par session, 8 séances de 90 min environ soient 12h au total, réparties sur 8 jours)	• Entraînement de trois fonctions requises en conduite automobile : le contrôle du véhicule, l'attention visuelle et la mémoire de travail	Evaluation de la conduite sur simulateur en simple tâche (tâche de suivi de véhicule) ou en double tâche (suivi de véhicule associé à : une tâche de mémoire de travail ou de détection d'objet)	GE, n = 21 Pas de GC (âge moyen : 72 ans)	• Pas d'amélioration des performances de conduite lors de la simple tâche (suivi de véhicule seul) • Amélioration des performances de conduite sur simulateur en double tâche (amélioration du temps de réaction au freinage du véhicule qui précède et maintien de la position sur la voie) • Limite : pas de groupe contrôle	Cassavaugh & Kramer, 2009
CogniFit Etats-Unis	Entraînement informatisé (16h : 2 séances de 30min par semaine réalisées au laboratoire, pendant environ 8 semaines)	• Entraînement de 14 dimensions de la cognition, tels que : l'attention divisée, la mémoire visuelle, la mémoire de travail, l'inhibition, la planification, etc.	Evaluation de la conduite sur simulateur (détection d'événements dangereux et conduite sur autoroute)	GE, n = 20 GC actif, n = 20 (65-84 ans)	• Pas d'amélioration du temps de réaction face à des événements dangereux • Pas d'amélioration des performances de conduite sur autoroute lors du suivi de véhicule (distances de sécurité identiques)	Gaspar et al 2012

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle.

VI.5 Entraînements pratiques

Différents types d'entraînements pratiques ont été testés auprès des conducteurs seniors, certains se déroulant sur simulateur de conduite, d'autres reposant sur le visionnage de séquences vidéos, avec le plus souvent des feedbacks donnés aux participants afin de les aider à mieux mémoriser les informations présentées (Casutt, Theill, Martin, Keller, & Jäncke, 2014 ; Horswill, Kemala, Wetton, Scialfa, & Pachana, 2010 ; Romoser & Fisher, 2009 ; voir Tableau 5). Le visionnage de vidéos commentées par un professionnel de la route et associé à des conseils pour anticiper la détection de dangers potentiels a permis l'amélioration des performances des conducteurs seniors au test de perception du danger (Horswill et al., 2010). Cette étude souligne l'importance des commentaires dans l'intégration et l'apprentissage de stratégie d'anticipation et de détection des dangers sur la route, à court terme. Outre le visionnage de vidéos, des entraînements pratiques utilisant le simulateur de conduite ont montré leur efficacité pour améliorer certains comportements de conduite au volant. Par exemple, Romoser et Fisher (2009) ont montré l'efficacité d'un entraînement sur simulateur de conduite d'une heure, associé à des feedbacks personnalisés, pour améliorer l'exploration visuelle en intersection lors d'une évaluation de la conduite sur route. Une étude complémentaire a révélé la durabilité des bénéfices de cet entraînement deux ans plus tard (Romoser, 2013). Récemment, un programme d'entraînement plus générique (comprenant des situations de conduite en centre-ville, en périphérie de ville, en quartier résidentiel et sur autoroute) et plus long (environ 6 heures au total) associé à des feedbacks sur la performance a montré son efficacité pour améliorer la performance de conduite globale sur route de conducteurs seniors (Casutt et al., 2014).

Ces différentes études démontrent l'importance des feedbacks et des commentaires dans l'apprentissage et l'application des comportements sûrs à adopter sur la route. De plus, les entraînements sur simulateur de conduite sont plus riches que les entraînements cognitifs classiques car ils reposent sur une activité qualifiée de « multitâche », faisant appel à plusieurs fonctions en même temps. En revanche, le simulateur de conduite peut présenter quelques inconvénients comme, par exemple, un coût plus élevé pour l'implémentation des scénarios qu'un programme d'entraînement cognitif classique sur ordinateur ou encore, le mal du simulateur (MS).

Tableau 5. Programmes d'entraînement pratiques à la conduite adressés aux conducteurs seniors

Nom du programme Pays	Format	Contenu	Evaluation	Effectif et âge	Principaux résultats	Auteurs
- Etats-Unis	Entraînement actif, réalisé sur simulateur de conduite, avec des feedbacks personnalisés (séance d'1h avec 20 min de conduite sur simulateur) Ou Entraînement passif, sous forme de cours, avec des images projetées comme support (une seule séance d'entraînement d'1h)	• Entraînement au balayage visuel en intersection et à la détection d'événements dangereux	Evaluation de la conduite sur simulateur et sur route (les zones d'intérêt étant les intersections)	GE1, n = 18, « entraînement actif » GE2, n = 18 « entraînement passif » GC, n = 18 contrôles (70-89 ans)	• Augmentation du nombre de vérifications visuelles en intersection, à la fois lors de l'évaluation de la conduite sur simulateur et sur route, pour GE1 par rapport à GE2 et GC	Romoser & Fisher, 2009
					• Durabilité des effets de l'entraînement actif lors de l'évaluation de conduite sur route réalisée deux ans après l'intervention	Romoser, 2013
- Australie	Visionnage d'une vidéo de 17 min, commentée par un moniteur de conduite pour le GE (des conseils pour anticiper les dangers leur étaient prodigués)	• Entraînement à la détection d'événement dangereux	Test de détection d'événements dangereux	GE, n = 12 GC, n = 12 (65-94 ans)	• Amélioration du temps de détection d'événements dangereux pour les participants du groupe expérimental	Horswill, 2010
Drive-wise project Suisse	Entraînement de conduite sur simulateur (10 séances de 40 min chacune, dont une séance de familiarisation) OU Entraînement informatisé des capacités attentionnelles (10 séances de 40 min chacune)	• Entraînement de la vigilance et de l'alerte phasique • Situations entraînées en conduite : quartier résidentiel, périphérie de ville, centre-ville, autoroute ou voie rapide, dépassement • Augmentation de la difficulté au fur et à mesure des sessions • Feedback verbal reçu après chaque exercice sur simulateur ou sur ordinateur (temps de réaction, nombre d'erreurs commises et niveau atteint)	Evaluation cognitive (vitesse de traitement, capacités attentionnelles, champ visuel, perception d'objets et fonctions exécutives) Evaluation de la conduite sur route	GE simulateur, n = 31 GE cognitif, n = 23 GC, n = 23 (62-87 ans)	• Amélioration de la performance cognitive globale et de la vitesse d'exécution motrice pour les deux GE par rapport à GC • Amélioration de la vitesse de décision pour GE cognitif par rapport à GE simulateur • Pas d'effet de l'entraînement sur la performance de conduite globale sur route, mais amélioration de la performance de conduite globale pour GE simulateur par rapport à GE cognitif • Amélioration de la position sur la voie pour le GC par rapport aux GE	Casutt, 2014

GE : Groupe Expérimental. GC : Groupe Contrôle.

VI.6 Conclusion

La synthèse des résultats des différents travaux visant à évaluer l'efficacité de ces nombreux programmes de formation destinés aux seniors met en évidence que les formations théoriques ciblées sur les effets du vieillissement sur les capacités de conduite et les outils d'auto-évaluation permettent d'améliorer la prise de conscience des capacités des conducteurs. Néanmoins, l'efficacité de ces interventions sur l'amélioration des performances de conduite sur route et de la sécurité routière a peu été démontrée. En outre, les interventions théorico-pratiques améliorent les connaissances générales relatives à la conduite et à la sécurité routière et elles limitent également les comportements dangereux sur la route. Néanmoins, l'impact de ce type d'intervention sur la prise de conscience des capacités des conducteurs ne semble pas avoir été évalué. Des programmes d'entraînements cognitifs ont prouvé leur efficacité pour améliorer les capacités visuelles et la vitesse de traitement des conducteurs seniors, mais l'amélioration des fonctions exécutives et des performances de conduite sur route reste encore à démontrer. Enfin, des interventions pratiques, permettant de contextualiser les apprentissages, mettent en évidence l'apport majeur du simulateur de conduite et des feedbacks destinés aux conducteurs pour améliorer les performances de conduite sur route. Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a déterminé l'impact des entraînements cognitifs ou pratiques sur la perception des capacités ni sur la mise en place de stratégies d'autorégulation. De plus, bien que le simulateur de conduite présente de nombreux avantages, le MS en demeure une limite majeure. Ces derniers points seront détaillés dans le chapitre suivant.

VII. Forces et faiblesses du simulateur de conduite

VII.1 Introduction

A la fin des années 60 sont apparus les premiers simulateurs de conduite (voir Goode, Salmon, & Lenne, 2012 pour revue). Les simulateurs sont de plus en plus utilisés dans la recherche car ils présentent de nombreux avantages, tels que la réalisation d'études sans risque et dans des conditions standardisées. Depuis de nombreuses années, les simulateurs de conduite sont utilisés pour évaluer les performances de conduite (voir Classen & Brooks, 2014 pour revue), pour étudier l'effet de pathologies ou de troubles fonctionnels (par exemple, Classen et al., 2009 ; Frey, 2005 ; Marino et al., 2013 ; Vorona & Ware, 2002), ou encore pour étudier l'effet de substances actives telles que les médicaments, les stupéfiants ou encore l'alcool sur les performances de conduite (par exemple : Hetland & Carr, 2014 ; Mailis-Gagnon et al., 2012 ; Van Dyke & Fillmore, 2014 ; Verster, van de Loo, & Roth, 2015). Plus récemment, les simulateurs de conduite ont été utilisés pour étudier l'impact des nouvelles technologies sur l'attention au volant (par exemple : Lees & Lee, 2007 ; Young, Stephens, Stephan, & Stuart, 2015), ou encore pour évaluer les bénéfices de programmes d'entraînement, de remédiation à la conduite, destinés aux conducteurs seniors malvoyants (voir Justiss, 2013 pour revue), ou à des patients ayant subi des accidents vasculaires cérébraux (AVC) ou des traumatismes crâniens (George, Crotty, Gelinas, & Devos, 2014 ; Lew, Rosen, Thomander, & Poole, 2009 ; Unsworth & Baker, 2014). Cependant, bien que cet outil de réalité virtuelle présente des avantages en termes de réalisme, de maitrise des coûts, et de sécurité, se pose la question du domaine de validité des simulateurs : dans quelle mesure les comportements observés sur simulateur sont-ils généralisables à ceux observés en conduite réelle ?

VII.2 Fidélité et validité du simulateur de conduite

Une large gamme de simulateurs de conduite existe, allant du simple ordinateur muni d'un volant et d'un ou plusieurs moniteurs, jusqu'au véhicule complet, entouré d'écrans et immergeant totalement le conducteur dans un environnement virtuel. Afin d'étudier le domaine de validité des simulateurs, des chercheurs ont comparé les performances de conduite obtenues au volant d'un simulateur basse-fidélité (par exemple : un véhicule simplifié entouré d'écrans, comprenant un volant, un tableau de bord, un siège de voiture, un levier de vitesse et un pédalier, sans l'habitacle du véhicule, voir Burnett, 2007 pour une description complète ; ou un simulateur de table, comprenant un volant et un pédalier et où l'environnement virtuel est projeté sur trois moniteurs d'ordinateur voir

Park, Allen, Rosenthal, & Fiorentino, 2005) et d'un simulateur haute-fidélité (correspondant à une vraie voiture immobilisée entourée de grands écrans sur lesquels est projeté l'environnement virtuel). Des chercheurs ont montré que, comparativement aux participants ayant conduit sur un simulateur basse-fidélité, ceux qui ont conduit sur un simulateur haute-fidélité avaient eu un comportement plus proche de celui observé en situation de conduite réelle, i) ils ont davantage fait varier leur vitesse et ont conduit à une vitesse moyenne moins élevée, ii) ils ont donné moins de coups de freins et de coups de volant, et iii) ils ont davantage respecté les distances de sécurité avec le véhicule qui les précédait (Burnett, 2007 ; Park et al., 2005). Ces données suggèrent que le simulateur haute-fidélité est un meilleur outil que le simulateur basse-fidélité pour observer le comportement global du conducteur. Néanmoins, Park et collaborateurs (2005) ont remarqué que les participants ressentaient davantage le mal du simulateur (MS) dans la configuration du simulateur la plus complète. Trouver un compromis en fonction des objectifs de l'étude est donc primordial. Le simulateur de conduite basse-fidélité pourrait être utilisé par exemple pour étudier les stratégies visuelles et le simulateur haute-fidélité pour observer le comportement plus global du conducteur.

La problématique de la simulation réside dans ce que Blana (1996) et Törnros, (1998) ont défini comme la validité externe du simulateur, c'est-à-dire à la validité des réponses du conducteur. La validité externe du simulateur est composée de la validité absolue, qui reflète l'existence du même effet à la fois sur route et sur simulateur, et de la validité relative, qui indique que la même tendance d'un effet existe à la fois sur route et sur simulateur. Afin d'étudier la validité externe des simulateurs, plusieurs études récentes ont été menées dans différentes conditions. Certaines études ont révélé une corrélation positive entre le nombre total d'erreurs faites sur simulateur et sur route (Bédard, Parkkari, Weaver, Riendeau, & Dahlquist, 2010 ; Mayhew et al., 2011). En outre, la comparaison du nombre total d'erreurs commises indique qu'elles sont parfois plus nombreuses sur route que sur simulateur (Shechtman, Classen, Awadzi, & Mann, 2009), ou inversement (Mayhew et al., 2011). Ces études indiquent cependant une validité relative du simulateur pour des situations de conduite spécifiques telles que les virages à droite et à gauche ou les zones de travaux, ainsi qu'une validité absolue pour les erreurs relatives au positionnement latéral sur la voie, à l'adaptation du comportement à la circulation et au balayage visuel (Bham, Leu, Vallati, & Mathur, 2014; Mayhew et al., 2011; Shechtman et al., 2009).

Pour conclure sur la validité externe du simulateur de conduite, les données issues de ces nombreux travaux semblent indiquer que dans des situations de conduite bien définies, le simulateur de conduite est un outil fiable pour évaluer la performance de conduite de manière objective. Il faut néanmoins être prudent quant à l'interprétation des

résultats observés. En effet, bien que le nombre total d'erreurs faites sur simulateur corrèle avec le nombre total des erreurs faites sur route, la validité du simulateur semble davantage se vérifier sur des situations de conduite spécifiques, impliquant de plus courtes portions de route.

VII.3 Entraînement et rééducation

Tel que mentionné dans la partie VI.5, page 69, le simulateur de conduite peut être utilisé dans le cadre de l'entraînement de certains comportements au volant chez les personnes âgées. Il peut également servir d'outil de rééducation pour des patients ayant, par exemple, été victimes d'un AVC ou souffrant d'autres pathologies. Trois exemples permettent d'illustrer les domaines de validité et la valeur ajoutée du simulateur. Le premier concerne un programme d'entraînement sur simulateur de 15 heures réparties sur cinq semaines et testé auprès de patients âgés de plus de 75 ans ayant subi un AVC. Cet entraînement sur simulateur ne semble pas être plus efficace qu'une thérapie de rééducation cognitive classique pour améliorer les performances de conduite sur route (Akinwuntan et al., 2005), ni pour améliorer les capacités attentionnelles visuelles à l'UFOV® (Akinwuntan et al., 2010). En revanche, les patients ayant suivi le programme d'entraînement sur simulateur ont amélioré leurs performances au test de reconnaissance des panneaux routiers (Akinwuntan et al., 2005). La même équipe de chercheurs a mis en place un programme d'entraînement sur simulateur plus spécifique et ciblé sur : i) le positionnement sur la chaussée, ii) l'adaptation de la vitesse, iii) l'anticipation, iv) le dépassement, v) la perception des panneaux, et vi) la détection des dangers (Devos et al., 2009, 2010). Les résultats indiquent que les patients ayant subi un AVC et ayant suivi cet entraînement sur simulateur ont davantage amélioré leurs performances sur route en termes d'anticipation, de perception des panneaux, de communication, de comportement sur la route et en situation de tourne-à-gauche, que les patients ayant suivi un entraînement cognitif classique focalisé sur les capacités cognitives nécessaires à une conduite sécuritaire (Devos et al., 2009). Ces effets sont observables six mois après la fin de l'entraînement (Devos et al., 2009), mais, cinq ans plus tard, l'entraînement sur simulateur ne semble plus être plus avantageux que la thérapie de réhabilitation cognitive classique (Devos et al., 2010). Ainsi, cet exemple montre que le simulateur de conduite peut être un outil transitoirement utile dans la réadaptation des patients.

Le second exemple illustre l'utilisation du simulateur de conduite dans le cadre de la rééducation de patients présentant des lésions de la moelle épinière (12 sessions de 30 minutes, deux fois par semaine pendant un mois et demi). Après cinq séances de conduite sur simulateur, les patients ont amélioré leur distance d'arrêt, leur tenue de route, leur

positon sur la voie et ils sont parvenus à mieux adapter leur vitesse sur simulateur (Sung, Chiu, Tsai, Cheng, & Chen, 2012). Ces résultats encourageants suggèrent la possibilité d'intégrer ces séances de conduite sur simulateur dans le cadre des programmes de rééducation des patients présentant ce genre de lésion. A plus long terme, pour les patients qui parviennent à retrouver de l'autonomie fonctionnelle, il serait également intéressant d'évaluer le transfert des bénéfices de cet entraînement en situation de conduite réelle.

Enfin, le troisième exemple concerne l'utilisation du simulateur de conduite sur l'auto-évaluation des capacités de conduite de 95 patients souffrant d'encéphalopathie hépatique (Bajaj et al., 2012). Cette pathologie est associée à une diminution des capacités de conduite et de la conscience de la maladie. Les résultats illustrent un domaine de validité complémentaire et indiquent qu'après avoir conduit sur le simulateur, 60 % des patients ont amélioré leurs capacités d'auto-évaluation, contre 25 % des contrôles. L'amélioration de la conscience était corrélée à une meilleure orientation dans la simulation, une diminution du nombre d'accidents et un meilleur contrôle du véhicule. Ainsi, la conduite sur simulateur pourrait être un moyen d'aider les conducteurs à prendre conscience de leurs capacités et pourrait être un premier pas vers la remédiation cognitive de ces patients.

Pour conclure, le simulateur semble être un outil efficace pour entraîner ou rééduquer certaines habiletés de conduite. Grâce au simulateur, les conducteurs peuvent réapprendre des habiletés techniques pertinentes pour la conduite, telles que le contrôle du véhicule ou les manœuvres, habiletés qui peuvent être transférables dans la vie quotidienne. Le simulateur de conduite apparait également être un bon outil pour entraîner les fonctions de plus haut niveau cognitif telles que la perception des dangers ou le contrôle attentionnel (voir Goode et al., 2012 pour une revue détaillée).

VII.4 Un défi majeur : le mal du simulateur

VII.4.1 Définition

Le MS est un syndrome qui s'apparente au mal des transports (MT) et qui peut apparaître lorsqu'un individu se trouve immergé dans un environnement virtuel en mouvement (par exemple : dans un simulateur de conduite, de vol ou avec un casque de réalité augmentée). Il est causé par la discordance entre les différentes informations sensorielles perçues simultanément par le cerveau (i.e. les informations visuelles, proprioceptives et vestibulaires). En effet, selon Berthoz (1997), lors de la réalisation d'une action, le cerveau vérifie que la « configuration » des capteurs sensoriels est conforme à ce qui a été prédit, c'est-à-dire, à ce qui a été encodé en mémoire. Le « sens du

mouvement » résulte alors de la reconstruction cohérente du mouvement par le cerveau, à la suite de l'intégration des informations reçues par les différents capteurs sensoriels. Si cette cohérence n'est pas atteinte lors de la conduite sur simulateur, il peut en résulter des troubles perceptifs, tel que le MS.

Le MS est un syndrome poly-symptomatique (Kennedy & Fowlkes, 1992) : il provoque un inconfort général, une désorientation (des étourdissements et vertiges), une gêne oculomotrice (maux de tête, vision trouble, difficulté à se concentrer), des nausées (augmentation de la salivation, transpiration, maux d'estomac), et peut même aller parfois jusqu'à des vomissements (Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, 1993). Différents degrés dans ce syndrome existent, allant de léger à grave. La sévérité du syndrome résulte à la fois de l'intensité des stimuli provoquant la gêne et de la sensibilité de l'individu (S. Classen, Bewernitz, & Shechtman, 2011). Parfois, lorsque les symptômes du MS sont trop sévères, les participants sont contraints d'abandonner l'expérimentation (Edwards et al., 2003 ; Park & Allen, 2006 ; Rinalducci et al., 2003 ; Rizzo, 2003 ; Stanney et al., 1998). Cette réduction de la taille de l'échantillon est problématique, en particulier lorsque les protocoles de recherche s'étalent sur de longues périodes, car elle implique de devoir recruter de nouveaux participants dans l'étude, afin de pouvoir répondre à la question de recherche initiale.

VII.4.2 Théories

Depuis quelques décennies, de nombreuses théories se sont succédé pour tenter d'expliquer les mécanismes responsables de l'apparition du MT et du MS (« comment ce malaise apparaît-il ? ») mais également les raisons de cette apparition (« pourquoi apparait-il ? »).

VII.4.2.1 *La théorie du conflit sensoriel*

La théorie du conflit sensoriel (Reason & Brand, 1975) est celle qui est la plus couramment acceptée pour expliquer le MT et le MS (Brooks et al., 2010). D'après cette théorie, il y aurait deux types de conflit. Le premier apparaîtrait à la suite d'une discordance entre le mouvement tel qu'il est perçu par le système visuel et le mouvement tel qu'il est ressenti par les autres systèmes (vestibulaire ou proprioceptive). Le second conflit aurait lieu entre les structures même du système vestibulaire qui détectent et perçoivent les changements de direction et de vitesse (Reason & Brand, 1975). D'après le modèle de Reason (1978), une unité comparatrice au sein du cerveau recevrait des informations des systèmes visuel, vestibulaire et proprioceptif et comparerait ce schéma de mouvement au schéma attendu, encodé en mémoire (Reason, 1978). Le conflit, qui est à l'origine du MS,

aurait lieu entre : i) les indices sensoriels reçus de la simulation, ii) ceux effectivement perçus par l'individu, et iii) les attentes du conducteur, liées à son expérience passée. La conduite sur simulateur est une situation nouvelle pour l'individu. Lorsqu'il est au volant du simulateur, le conducteur perçoit des informations visuelles relatives au mouvement et des informations proprioceptives et vestibulaires contraires. Ainsi, lorsque l'unité comparatrice cérébrale compare ces informations, un décalage est ressenti entre ce qui est vécu et ce qui est attendu car la seule référence de l'individu est une situation de conduite réelle, où les systèmes proprioceptif et vestibulaire reçoivent également des informations relatives au mouvement. Par conséquent, c'est ce décalage qui est à l'origine du MS.

Cette théorie du conflit sensoriel permet d'expliquer pourquoi les symptômes augmentent avec la durée de la simulation (Kennedy, Stanney, & Dunlap, 2000). En effet, si c'est la première fois que les participants conduisent le simulateur, le décalage précédemment décrit va perdurer tout au long de la simulation et le conflit va être de plus en plus grand, accentuant le MS. Cette théorie du conflit sensoriel permet aussi d'expliquer la diminution des symptômes après plusieurs jours d'exposition (Kennedy, Berbaum, Williams, Brannan, & Welch, 1987 ; Sharma & Aparna, 1997). Ainsi, à force de conduire le simulateur, cette situation n'est plus « nouvelle » et des schémas peuvent être encodés en mémoire. Néanmoins, certaines personnes ne s'habituent jamais à la conduite sur simulateur. Cette absence d'habituation peut s'expliquer par le fait que lors de la session de conduite sur simulateur, les éléments qui provoquent l'apparition du MS soient si puissants et nombreux que le participant ne parviendra jamais à s'adapter complètement à la simulation et continuera de ressentir les symptômes.

VII.4.2.2 *La théorie du poison*

Contrairement à la théorie du conflit sensoriel, la théorie du poison vise à expliquer la dynamique de l'apparition du mal (MT ou MS) plutôt que ses origines physiologiques (Treisman, 1977). D'après cette théorie, au cours de son évolution, l'être humain a appris à utiliser les informations provenant des différents systèmes sensoriels et à bouger ses yeux et sa tête dépendamment des stimuli provenant de l'environnement. La théorie du poison suppose que l'être humain a besoin de temps pour s'adapter à un nouveau mode de transport, et que, par conséquent, lors d'expérimentations où les scénarios se succèdent au volant d'un simulateur de conduite, il n'a pas le temps suffisant pour s'habituer aux discordances des stimuli sensoriels provenant de ce nouvel environnement. Selon Treisman, le corps répondrait à ces stimuli discordants comme s'il avait ingéré un poison, provoquant alors des vomissements. Les stimuli discordants seraient équivalents à des toxines entraînant des troubles visuels, vestibulaires et proprioceptifs. Leur expulsion par

les vomissements constituerait ainsi une réponse adaptative, évolutive à cette discordance sensorielle.

Cette théorie postule qu'aucune habituation n'est possible car à chaque exposition à l'environnement virtuel, le conflit sensoriel a lieu et le MS réapparaît. Cette théorie ne fait donc pas état d'un seuil à partir duquel l'adaptation est possible, seuil qui pourrait expliquer pourquoi le MS diminue après plusieurs expositions (Kennedy et al., 1987; Sharma & Aparna, 1997). En effet, comme dans le cas d'une toxine, si la quantité ingérée est faible, elle ne rend pas malade.

VII.4.2.3 *La théorie de l'instabilité posturale*

Riccio et Stroffregen ont défini le contrôle postural comme étant « la stabilisation coordonnée de tous les segments du corps » (Riccio & Stoffregen, 1991). La théorie de l'instabilité posturale repose sur le fait que l'individu cherche naturellement à maintenir sa posture, en toutes circonstances. Or, en présence d'un environnement virtuel, l'individu se retrouve dans une situation nouvelle, qui le déstabilise, car il n'a pas appris les stratégies à mettre en place pour maintenir son équilibre dans cette situation précise. Prenons l'exemple d'un conducteur se trouvant au volant du simulateur de conduite ; l'instabilité posturale provient du fait que le participant reçoive des informations visuelles indiquant un mouvement, alors que son corps reste immobile. Cette situation est inhabituelle et provoque l'apparition du MS (Stoffregen & Smart, 1998). La sévérité des symptômes est proportionnelle à la durée de l'instabilité. Tant que le conducteur n'aura pas appris la nouvelle stratégie à appliquer dans cette condition pour retrouver le contrôle de sa posture, il ressentira le MS (Riccio & Stoffregen, 1991).

L'adaptation par le conducteur à un nouvel environnement dépend de sa capacité à trouver et utiliser systématiquement des stratégies de contrôle appropriées (Littman, Otten, & Smart, 2010). Ainsi, le participant qui ne ressentirait pas le MS, serait capable de trouver des stratégies d'adaptation posturales appropriées stables, contrairement à la personne malade, qui ne parviendrait pas à les trouver avant l'apparition des premiers symptômes du MS. De fait, une étude de 2002 a montré que l'instabilité posturale des individus était prédictive de leur susceptibilité au MS (Smart, Stoffregen, & Bardy, 2002).

VII.4.3 Facteurs relatifs à l'apparition du mal du simulateur

VII.4.3.1 *Caractéristiques de l'individu*

Plusieurs facteurs d'apparition du MS ont été décrits, tels que l'âge et le sexe. En premier lieu, plusieurs études révèlent que plus les participants sont âgés et plus ils tendent à être malades au volant du simulateur de conduite (Edwards, Creaser, Caird, Lamsdale, & Chisholm, 2003 ; Kawano et al., 2012 ; Park & Allen, 2006 ; Rinalducci, Mouloua, & Smither, 2003). De plus, les femmes semblent plus sensibles au MS que les hommes (Freund & Green, 2006 ; Kolasinski, Goldberg, & Hiller, 1995 ; Park & Allen, 2006), bien que plusieurs études ne le confirment pas (Graeber & Stanney, 2002 ; Kolasinski & Gilson, 1998 ; Mourant, 2007). Enfin, des facteurs tels que la fatigue, le manque de sommeil ou encore l'état de santé peuvent également influencer l'apparition du MS (Fagbemi, 2006 ; Johnson, 2005).

VII.4.3.2 *Le simulateur et les conditions expérimentales*

La manière dont sont retransmises les informations visuelles, c'est-à-dire, l'affichage de l'environnement virtuel sur un ou plusieurs écrans, constitue la principale caractéristique du simulateur de conduite en lien avec le MS (voir Johnson, 2005 ; Kolasinski et al., 1995 pour des revues détaillées). Le contraste, la résolution, la luminosité de l'écran sont autant de facteurs pouvant influencer l'apparition du MS. La taille du champ visuel joue également un rôle dans l'apparition du MS. Par exemple, plus la projection de l'environnement virtuel est faite sur de grands écrans, plus le champ visuel est large et plus les participants ressentent les symptômes liés au MS (Johnson, 2005 ; Kolasinski et al., 1995 ; Mollenhauer, 2004). Cette augmentation du nombre de participants malades s'explique par le fait que plus le champ visuel est grand et plus le conducteur peut percevoir le mouvement, ce qui entraîne une plus grande sensibilité au MS (Johnson, 2005). La fréquence de rafraîchissement de l'écran est également un facteur important car si elle est trop faible, elle peut entraîner des décalages, des sauts d'image qui peuvent perturber le conducteur et induire le MS.

Les autres caractéristiques du simulateur évoquées dans la littérature concernent le simulateur lui-même. Comme cela a été décrit dans la partie VII.2, il existe des simulateurs basse-fidélité et des simulateurs haute-fidélité. Des données contradictoires concernant l'apparition du MS dans ces différentes configurations ont été recueillies (Burnett, 2007 ; Park et al., 2005). En outre, parmi les simulateurs haute-fidélité se distinguent les simulateurs à base fixe et les simulateurs à base mobile. Bien qu'il apporte des informations sensorielles relatives au mouvement, supplémentaires aux informations visuelles, le

simulateur à base mobile ne permet pas de réduire le MS (Casali & Wierwille, 1980 ; Kennedy, Lilienthal, Berbaum, McCauley, & Baltzley, 1989 ; Sharkey & McCauley, 1992).

Les conditions expérimentales peuvent également influencer l'apparition du MS et notamment la température de la pièce dans laquelle se déroule la tâche de conduite sur simulateur. Ainsi, la pièce dans laquelle se déroule la simulation doit être ventilée, pour que la température soit un minimum contrôlée (Mollenhauer, 2004).

VII.4.3.3 *La durée de l'exposition et le contenu des scénarios*

La durée de la simulation est un facteur associé à l'apparition du MS. En effet, des chercheurs ont mis en évidence que plus le participant était exposé à l'environnement virtuel et plus il se sentait mal dans le simulateur (Johnson, 2005 ; Kennedy & Fowlkes, 1992 ; Kolasinski et al., 1995 ; Moss & Muth, 2011).

Le contenu des scénarios peut également contribuer à l'apparition du MS. Les participants semblent être davantage sensibles au MS lorsqu'ils doivent conduire dans un environnement urbain, en présence de virages, d'intersections et d'un décor complexe (immeubles, maisons, etc.), plutôt que lorsqu'ils conduisent dans un environnement rural, avec peu de virages et un décor plus simple (Park & Allen, 2006). La complexité du décor de l'environnement urbain, associée aux virages, provoquent une augmentation de la fréquence des informations visuelles reçues, pouvant déclencher le MS chez certains conducteurs (McCauley & Sharkey, 1992 ; Mourant, 2007). Outre la complexité du décor, d'autres facteurs peuvent favoriser l'apparition du MS, tels qu'un trafic important, une conduite à une vitesse élevée (qui provoque un défilement plus rapide des éléments du décor), des freinages et accélérations successifs et la réalisation de manœuvres (Jaeger & Mourant, 2001 ; Johnson, 2005 ; Kennedy et al., 2000 ; Mourant, 2007). Enfin, plus la tâche de conduite nécessite des mouvements de tête de la part du participant et plus celui-ci est susceptible d'être malade (Kennedy & Fowlkes, 1992 ; Kolasinski et al., 1995). Cependant, il a récemment été montré qu'une habituation progressive au simulateur et au contenu des scénarios permettait de limiter l'apparition du MS. En effet, proposer plusieurs courtes sessions de conduite sur simulateur, à quelques jours d'intervalle, semble être une stratégie efficace pour permettre aux conducteurs de s'adapter à l'environnement virtuel (Domeyer, Cassavaugh, & Backs, 2013 ; Howarth & Hodder, 2008 ; Teasdale, Lavallière, Tremblay, Simoneau, & Laurendeau, 2009).

VII.4.4 Méthodes utilisées pour limiter / éviter l'apparition du MS

Différentes méthodes ont été testées dans le but de limiter voire de supprimer l'apparition des symptômes liés au MS : des bracelets d'acupressure, des médicaments, ou encore les stimulations galvaniques vestibulaires ou cutanées. Les bracelets d'acupressure sont constitués d'une bille (ou d'une électrode) qui exerce une pression (ou délivre un courant de faible intensité) sur un point précis situé à la face interne du poignet, appelé P6. Ce point d'acupuncture est lié aux nausées et aux vomissements. Les études ayant évalué ce dispositif révèlent que dans certains cas, les bracelets sont efficaces pour limiter le MS (Cox, Singh, & Cox, 2011 ; Stern, Jokerst, Muth, & Hollis, 2001), alors que dans d'autres cas, les symptômes augmentent autant pour le groupe expérimental (ayant les bracelets) que pour le groupe de conducteurs contrôles (Miller & Muth, 2004 ; Wesley, Sayer, & Tengler, 2005). Ainsi, du fait que ces résultats ne fassent pas consensus, d'autres méthodes ont été testées. Des médicaments, tels que la scopolamine, la meclizine ou la cinnazine, ont également été utilisés pour réduire les symptômes du MS (Dahl, Offer-Ohlsen, Lillevold, & Sandvik, 1984 ; Nachum, Shupak, & Gordon, 2012). Néanmoins, bien qu'efficaces pour réduire le MS, ces médicaments ont des effets secondaires néfastes sur la mémoire à court terme, l'attention, la vigilance, et peuvent même entraîner un délire chez les personnes âgées (Burke, 1995 ; Nachum et al., 2012). D'autres méthodes ont donc été recherchées pour pallier ces inconvénients. Récemment, la stimulation galvanique a été utilisée dans ce champ d'application. Elle consiste en l'application d'un faible courant, par l'intermédiaire d'électrodes, placées à des endroits précis du corps. Deux sortes de stimulations galvaniques ont été testées dans le cadre de la conduite sur simulateur : la stimulation galvanique vestibulaire (SGV) et la stimulation galvanique cutanée de la nuque (SGC).

Dans le cas de la SGV, les électrodes sont placées bilatéralement au niveau de l'os mastoïde, derrière l'oreille, afin de stimuler le nerf crânien VIII (nerf vestibulo-cochléaire). Lors des études réalisées sur simulateur de conduite, la SGV a été délivrée dans les virages (Reed-Jones, Reed-Jones, Trick, Toxopeus, & Vallis, 2009 ; Reed-Jones, Reed-Jones, Trick, & Vallis, 2007 ; Reed-Jones, Vallis, Reed-Jones, & Trick, 2008). Son rôle est de donner des informations sensorielles vestibulaires au conducteur, faisant croire à un mouvement du corps, en accord avec les informations visuelles reçues (Fitzpatrick & Day, 2004). Dans le cas de la SGC, les électrodes sont soit placées bilatéralement sur les muscles sterno-cléido-mastoïdiens, 3 à 4 cm en dessous du processus mastoïde (Gálvez-García, 2015 ; Gálvez-García, Hay, & Gabaude, 2015 ; Reed-Jones et al., 2008). Son rôle est d'activer les afférences sensorielles cutanées entraînant une légère gêne au niveau de la nuque (Reed-Jones et al., 2009).

Les études ayant testé l'efficacité des stimulations galvaniques pour réduire le MS ont montré que la SGV réduisait le MS et améliorait l'adaptation de la vitesse des conducteurs dans les virages (Reed-Jones et al., 2007). Cependant, cette méthode n'est pas si efficace car elle augmente la gêne oculomotrice ressentie par les conducteurs en provoquant des réponses oculaires réflexes involontaires (Reed-Jones et al., 2009). De plus, le dispositif de stimulation nécessitait d'être asservi au simulateur afin de déclencher la stimulation au moment opportun. Concernant la SGC, qu'elle soit délivrée uniquement dans les virages (Gálvez-García, 2015 ; Reed-Jones et al., 2009) ou de manière intermittente sur la totalité du parcours (Gálvez-García et al., 2015), elle permet de réduire le MS de jeunes conducteurs, sans effet secondaire.

VII.5 Conclusion

Parmi les nombreux avantages que présentent le simulateur de conduite, cet outil permet de réaliser des expérimentations sans risque, dans des conditions contrôlées. De plus, de nombreux travaux ont montré que les performances de conduite sur simulateur étaient proches de celles mesurées sur la route. Cependant, il faut rester prudent quant à l'interprétation des résultats obtenus sur simulateur de conduite. A l'heure actuelle, l'évaluation de la conduite sur le simulateur ne peut pas complètement remplacer l'évaluation de la conduite sur route car la simulation, aussi réaliste soit-elle ne fournit pas le même rendu qu'une situation de conduite réelle (problème de la validité écologique). Enfin, certains participants sont malades sur le simulateur et ne peuvent pas terminer l'expérimentation. Différentes méthodes ont été testées pour tenter de réduire les symptômes du MS. Parmi elle, la SGC semble être efficace chez les jeunes conducteurs. Cependant, à notre connaissance, elle n'a pas été testée chez les conducteurs seniors, qui représentent la population la plus touchée par le MS.

VIII. Objectifs et hypothèses de travail

L'objectif **principal** de ce travail de thèse était d'évaluer l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif informatisé, associé ou non à une immersion sur simulateur de conduite, sur la cognition et la conduite automobile de conducteurs seniors présentant un biais de calibration des capacités cognitives. Ce premier objectif a été traité dans la première partie expérimentale, subdivisée en quatre sous-parties.

- L'objectif principal du **Focus 1** était d'évaluer l'efficacité du programme d'entraînement cognitif informatisé sur les performances cognitives des conducteurs seniors. L'hypothèse formulée était que contrairement aux participants du groupe contrôle, les participants ayant réalisé l'entraînement cognitif auraient de meilleures performances aux tests cognitifs évaluant les fonctions ayant été spécifiquement entraînées (la vitesse de traitement, l'attention visuelle, la mémoire de travail, les capacités visuo-spatiales et les fonctions exécutives, telles que la flexibilité ou l'inhibition).

- L'objectif principal du **Focus 2** était d'évaluer l'efficacité du programme d'entraînement informatisé cognitif sur la calibration des capacités cognitives des conducteurs seniors. L'hypothèse formulée était que lors de l'évaluation finale et grâce aux feedbacks reçus sur leurs performances, davantage de participants du groupe expérimental auraient amélioré la calibration de leur cognition et seraient devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives, contrairement aux participants du groupe contrôle. Cette amélioration de la calibration se traduirait par une adéquation entre l'évaluation objective des capacités cognitives et l'auto-évaluation subjective réalisée par les participants eux-mêmes, en répondant à un questionnaire.

- L'objectif principal du **Focus 3** était d'évaluer l'efficacité du programme d'entraînement cognitif sur les performances de conduite et de déterminer le rôle joué par le simulateur de conduite dans le transfert des bénéfices de l'entraînement sur les performances de conduite. Les hypothèses formulées étaient que, d'une part, les participants ayant réalisé l'entraînement cognitif seul auraient davantage amélioré leurs performances de conduite sur route que les participants du groupe contrôle et, d'autre part, que les participants ayant conduit le simulateur auraient davantage amélioré leurs performances de conduite sur route que les participants ayant réalisé seulement l'entraînement cognitif informatisé.

- L'objectif du **Focus 4** était d'évaluer l'efficacité du programme d'entraînement cognitif sur le bien-être subjectif des conducteurs seniors. L'hypothèse formulée était que

les participants du groupe expérimental auraient davantage amélioré leur qualité de vie, leur sentiment d'auto-efficacité et leur autonomie que les participants du groupe contrôle.

L'objectif **secondaire** de ce travail de thèse était d'évaluer l'efficacité d'une méthode permettant de réduire les symptômes associés au MS. Ce second objectif a été traité dans la seconde partie expérimentale, subdivisée en deux sous-parties.

- L'objectif de l'**étude 1** était de tester l'efficacité de la SGC de la nuque sur le MS des conducteurs jeunes.

- L'objectif de l'**étude 2** était de tester l'efficacité de cette même méthode sur le MS de conducteurs âgés. Dans les deux cas, l'hypothèse était que la SGC permettait de réduire les symptômes liés au MS.

PARTIE EXPERIMENTALE 1

I. Introduction générale

Cette première partie expérimentale est divisée en quatre focus. Dans le premier, l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif associé ou non à une immersion sur simulateur de conduite sur les performances cognitives des conducteurs seniors a été évaluée. Dans le second focus, l'efficacité du programme d'entraînement sur la prise de conscience des capacités cognitives et sur la calibration des capacités cognitives a été mesurée. Le troisième focus a fait l'objet de l'évaluation i) de l'efficacité du programme d'entraînement cognitif sur les performances de conduite et ii) du rôle de l'immersion sur simulateur de conduite dans le transfert des bénéfices de l'entraînement cognitif sur les performances de conduite sur route. Enfin, le quatrième focus a consisté en l'évaluation de l'influence de la participation à l'entraînement sur des indicateurs de bien-être subjectif et de qualité de vie. Cette partie expérimentale a été divisée en quatre sous-parties pour plus de lisibilité. La méthodologie générale aux quatre focus est présentée ci-dessous. Puis chaque focus sera détaillé de manière indépendante dans les chapitres suivants.

II. Méthodologie générale

II.1 Participants

Les participants inclus dans notre étude proviennent de la cohorte SAFE MOVE, élaborée lors du premier volet du projet éponyme. Les personnes ont été contactées par courrier à la suite d'un tirage au sort réalisé depuis les listes électorales de villes et villages des départements du Rhône et du Calvados. Sur plus de 16000 personnes contactées, un total de 1204 conducteurs a accepté de participer à cette étude, parmi lesquels 797 du département du Rhône (66,2 %) et 407 du département du Calvados (33,8 %). Un psychologue s'est rendu au domicile des répondants afin de leur faire compléter i) un questionnaire relatif à leurs habitudes de vie et de conduite, ii) une évaluation neuropsychologique par le biais des tests du Trail Making Test (TMT, Reitan, 1958) et des Codes de la WAIS (Wechsler Adult Intelligent Scale, Wechsler, 1981), pour lesquels de faibles performances sont associées à la conduite à risque et à la survenue d'accident (Lafont et al., 2010, 2008), et iii) un questionnaire d'auto-évaluation de leurs capacités cognitives. Le « statut » de calibration de la cognition des conducteurs a été déterminé en croisant les données objectives issues de l'évaluation neuropsychologique et les données subjectives issues du questionnaire d'auto-évaluation des capacités cognitives. Ces tests cognitifs sont détaillés dans la partie III.2.2, page 102 et les questionnaires d'auto-évaluation sont présentés dans la partie IV.2.2.2 page 121.

Les données objectives ont permis de classer les individus selon leur niveau de cognition : « haut », « moyen » ou « bas ». Les données subjectives ont, quant à elles, permis de classer les individus selon la manière dont ils évaluent leurs capacités cognitives : « mieux » « aussi bien » ou « moins bien » que celles des autres. Enfin, le croisement de ces deux évaluations, objective et subjective, a permis d'identifier trois profils de conducteurs seniors :

- les **sur-estimateurs (SE)**, étant les personnes ayant soit i) un niveau cognitif « bas » et évaluant leurs capacités comme étant « mieux » ou « aussi bien », ou ii) un niveau cognitif « moyen » et évaluant leurs capacités comme étant « mieux » que celles des autres,

- les **sous-estimateurs (SsE)**, étant les personnes ayant soit i) un niveau cognitif « haut » et évaluant leurs capacités «aussi bien » ou « moins bien », ou ii) un niveau cognitif « moyen » et évaluant leurs capacités comme étant « moins bien » que celles des autres,

- les **estimateurs corrects (C)**, étant les personnes qui ont soit i) un niveau cognitif « haut » et évaluant leurs capacités comme étant « mieux » que celles des autres, ou ii) un niveau cognitif « moyen » et évaluant leurs capacités comme étant « comme celles des autres », ou iii) un niveau cognitif « bas » et évaluant leurs capacités comme étant « moins bien » que celles des autres.

Les détails de la construction des différents profils de conducteurs sont présentés dans l'Annexe 1, page 247 (Lafont et al., sous presse). Le Tableau 6 représente la répartition des 1190 participants sur les 1204 de la cohorte SAFE MOVE (les données de 14 participants n'ont pu être exploitées). Parmi eux se distinguent 180 SsE (soit 15,1 % de l'effectif de la cohorte) ; 502 estimateurs corrects (soit 42,2 % de l'effectif de la cohorte) et 508 SE (soit 42,7 % de l'effectif de la cohorte). Au sein de cette cohorte, nous nous sommes intéressés aux conducteurs présentant un biais de calibration de la cognition, c'est-à-dire aux SE et SsE.

Tableau 6. Croisement des données issues de l'évaluation objective et de l'évaluation subjective des capacités cognitives

		Evaluation objective des capacités cognitives		
		Haut	Moyen	Bas
Evaluation subjective des capacités cognitives	Mieux	C 9,5%	SE 18,7%	SE 8,2%
	Comme les autres	SsE 14%	C 32,2%	SE 15,8%
	Moins bien	SsE 0,3%	SsE 0,8%	C 0,5%

SE : Sur-Estimateur. SsE : Sous-Estimateur. C : Estimateur Correct.

Les critères d'inclusion de notre étude étaient les suivants :

- être surestimateur ou sous-estimateur de ses capacités cognitives
- conduire au moins 3000 km/ an,
- avoir une acuité visuelle normale ou corrigée supérieure à 5/10ème,
- avoir un ordinateur et une connexion à internet pour pouvoir réaliser les différentes activités en ligne,
- conduire une voiture à boite de vitesses manuelle, ou ne pas être gêné par le fait d'en conduire une,
- être prêt à s'engager sur une période d'au moins 12 semaines et venir au laboratoire cinq fois au total,
- ne pas avoir de vertiges et ne pas être sensibles au mal des transports, afin de limiter le mal du simulateur.

Trois-cent-quatre-vingt-quatre conducteurs issus de la cohorte ont été contactés par téléphone pour participer à cette étude. Parmi eux :

- 106 ont accepté de participer (27,6 %),
- 102 n'étaient pas intéressés ou ne souhaitaient pas se déplacer si loin (26,6 %),
- 42 avaient des problèmes de santé interférant avec leur conduite (10,9 %)
- 38 n'avaient pas de connexion internet ou d'ordinateur, nécessaires à la réalisation de l'entraînement (9,9 %),
- 24 n'étaient pas disponibles pour s'engager sur un entraînement durant 12 semaines (6,2 %),
- 11 devaient s'occuper de proches malades (2,9 %),

- 5 ont invoqué d'autres raisons (déménagement ou changement de voiture pour une boite automatique, par exemple, 1,3 %),
- 56 n'étaient pas joignables (14,6 %) : 52 n'ont pas répondu au téléphone et 4 étaient décédés.

La répartition des participants dans les groupes a été réalisée selon un dispositif quasi-expérimental. En effet, les participants ont été répartis en trois groupes, d'abord dans les deux groupes expérimentaux et ensuite dans un groupe contrôle actif. La stratégie d'inclusion initiale était de recruter autant de SE que de SsE dans chaque groupe, en appariant les participants en termes d'âge et de sexe.

- Le premier groupe expérimental, noté EC (pour « Entraînement Cognitif ») a réalisé l'entraînement cognitif uniquement, durant 36 heures (soit 3 heures par semaine pendant 12 semaines).
- Le second groupe expérimental, noté EC + S (pour « Entraînement Cognitif + immersion sur Simulateur ») a réalisé l'entraînement cognitif pendant 35 heures et 1 heure d'immersion sur simulateur (répartie en trois sessions de 20 minutes).
- Enfin, le groupe contrôle, noté AC (pour « Activité Contrôle ») a réalisé 36 heures de lecture.

II.2 Entraînement cognitif

Vingt exercices cognitifs provenant du programme d'entraînement Happyneuron® (Tableau 7), crée par la société française Scientific Brain Training (SBT) ont été utilisés dans le cadre de notre étude. Ces exercices entraînaient les fonctions cognitives sollicitées lors de l'activité de conduite, telles que les capacités attentionnelles (attention divisée, sélective et soutenue), les fonctions exécutives (résolution de problèmes, flexibilité, inhibition), la mémoire (mémoire spatiale, mémoire de travail) et les capacités visuo-spatiales (imagerie mentale, rotation mentale). Ces exercices étaient disponibles depuis une plateforme d'apprentissage en ligne (aussi appelée un LMS « Learning Management System »), la plateforme SAFE MOVE, accessible depuis internet. Chaque participant possédait son espace personnel sur cette plateforme et pouvait s'y connecter pour réaliser son activité quotidienne. Quinze niveaux de difficultés étaient disponibles par exercice. Chaque exercice commençait au niveau 1. Lorsque le participant réussissait un exercice à 100 %, c'est-à-dire qu'il n'avait commis aucune erreur, il accédait au niveau supérieur, lorsqu'il obtenait un score compris entre 70 et 99 %, il restait au même niveau de difficulté, et lorsqu'il obtenait à trois reprises consécutives un score inférieur à 70 %, il descendait

d’un niveau. Chaque exercice réalisé donnait lieu à un retour sur la performance (pourcentage de bonnes réponses, temps de réalisation moyen et des messages d’encouragement).

Tableau 7. Description des vingt exercices du programme d'entraînement cognitif informatisé

Exercices	Fonctions entraînées	Consignes
Attrapez la coccinelle !	Vitesse de traitement ; Attention sélective et soutenue ; Mémoire de travail	Cliquer le plus rapidement possible sur une coccinelle qui apparait à un endroit aléatoire de l'écran
Cherchez l'intrus	Vitesse de traitement ; Attention sélective ; Reconnaissance de formes ; Résistance à l'interférence	Détecter un symbole intrus, le plus rapidement possible, parmi tous les symboles présentés dans une grille
Comparaison de caractères d'écritures	Attention sélective	Observer attentivement deux séries de caractères placées à proximité l'une de l'autre et détecter les caractères qui différaient d'une série à l'autre
Double jeu	Attention divisée	Première partie : simple tâche visuelle consistant en la reconnaissance d'un symbole donné dans une série de symboles différents. Seconde partie : simple tâche auditive reposant sur le tri de mots entendus dans des catégories. Troisième partie : réalisation de ces deux tâches simultanément
La danse des lucioles	Attention visuelle ; Mémoire de travail	Analyser la danse de plusieurs lucioles dans la nuit et en déduire la trajectoire décrite
Le sens de la vitesse	Attention visuelle ; Mémoire de travail ; Reconnaissance de forme ; Estimation des vitesses relatives d'objets en mouvement	Estimer la vitesse à laquelle roulent des véhicules, passant les uns après les autres, et déterminer ensuite le plus rapide et le plus lent
Mach 2	Vitesse de traitement ; Attention visuelle ; Mémoire de travail	Déterminer le plus vite possible si l'avion qui traverse l'écran correspond à l'avion-cible mémorisé
Tiroirs secrets	Vitesse de traitement ; Raisonnement déductif ; Mémoire de travail ; Attention sélective	Ranger des mots dans le bon tiroir, selon leur catégorie, le plus rapidement possible. Chaque tiroir correspond à une catégorie, mais les catégories ne sont pas toujours connues au départ. Il fallait alors les déduire, grâce aux refus et acceptations des propositions. Le mode de classement est choisi par l'ordinateur
Basket à New-York	Résolution de problème ; Planification ; Stratégie ; Inhibition ; Imagerie mentale	Définir mentalement le nombre de déplacements de ballons à effectuer pour passer d'une configuration B à une configuration A, présentée comme modèle
Mettez de l'ordre dans ces comptes	Attention sélective ; Attention soutenue ; Mémoire de travail	Trier des nombres pairs ou impairs dans l'ordre croissant ou décroissant. Ces nombres étaient présentés dans une grille dont la taille variait avec la difficulté de l'exercice
Tours de Hanoï	Résolution de problème ; Stratégie ; Planification ; Inhibition	Déplacer des anneaux de couleur sur des tiges afin d'obtenir une configuration modèle présentée, avec comme contraintes : i) un seul anneau ne peut être déplacé à la fois, ii) un grand anneau ne peut être déposé sur un anneau plus petit, et iii) une tige peut parfois se retrouver sans anneau et donc libre, tout anneau peut alors y être déposé

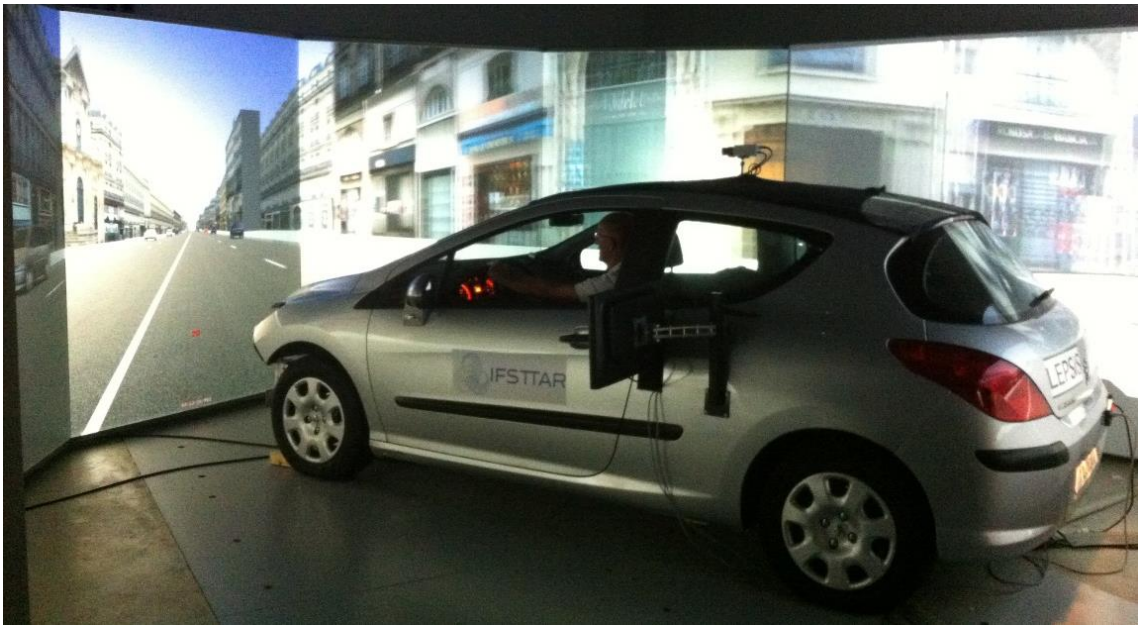
Tableau 7. Description des vingt exercices du programme d'entraînement cognitif informatisé

Exercices	Fonctions entraînées	Consignes
Vive l'alternance	Flexibilité mentale ; Stratégie ; Inhibition ; Détection visuo-spatiale	Première partie : classer dans l'ordre alphabétique des lettres ou des mots répartis aléatoirement dans des cases sur l'écran. Seconde partie, effectuer deux classements alternativement (soit deux classements alphabétiques, soit un classement alphabétique et un classement numérique, selon la variante choisie). La difficulté était de passer de l'un à l'autre le plus vite possible
Figures enchevêtrées	Attention sélective ; Mémoire de travail	Des figures enchevêtrées, qui composent une forme plus complexe, sont affichées à l'écran. Ces objets sont ensuite présentés parmi un choix d'autres éléments similaires ou différents. Les participants doivent reconnaître, parmi d'autres propositions, les éléments qui constituaient la figure initiale
Tout dépend d'où l'on regarde	Imagerie mentale ; Représentation spatiale ; Rotation mentale	Les participants doivent d'une part, déduire l'emplacement d'un observateur sur une carte, à partir de ce qu'ils voient, et d'autre part, déterminer ce que voit un observateur à partir de sa position sur une carte
Tours de mains	Imagerie mentale ; Rotation mentale	Devaient décider si la main qui apparait à l'écran était une main gauche ou une main droite. Elle pouvait être présentée de façons différentes : seule, en action ou vue dans un miroir
Haute tension	Alerte phasique	Trois types de stimuli (un cercle rouge, une croix noire et une lettre de centrage) apparaissent l'un après l'autre à différents endroits et de façon aléatoire sur l'écran. Les participants doivent déterminer le plus rapidement possible si le cercle rouge se trouve au-dessus ou en dessous de la croix noire
Un Américain à Paris	Mémoire à court terme ; Capacités visuo-spatiales ; Attention soutenue	Mémoriser l'emplacement de monuments sur le plan d'une grande ville (Paris, Rome, Venise...) et puis, reconstituer des circuits de visite dans cette ville
Retrouvez votre chemin	Mémoire de travail ; Attention	Reproduire un itinéraire mémorisé, soit dans le même ordre soit dans l'ordre inverse
Formes et couleurs	Mémoire à court terme ; Attention	Mémoriser des éléments de diverses formes et couleurs puis les reconnaître parmi d'autres
Objets où êtes-vous ?	Attention sélective ; Mémoire de travail ; Capacités visuo-spatiale ;	Mémoriser plusieurs images (figuratives ou abstraites) et leur emplacement sur une grille, puis les restituer selon différentes modalités de réponse

II.3 Immersion sur simulateur de conduite

L'immersion sur simulateur a été réalisée sur un simulateur à base fixe de l'IFSTTAR, une Peugeot 308 instrumentée, entourée d'écrans et d'enceintes permettant la restitution visuelle et sonore de l'environnement de conduite. Cinq écrans (220 x 165 cm et 1024 x 1280 pixels), fournissant environ 180° de champ visuel horizontalement et 40° de champ visuel vertical, permettaient d'immerger totalement le conducteur dans la simulation. De plus, des écrans placés le long du véhicule permettaient d'avoir un retour visuel dans les rétroviseurs (Figure 15).

Figure 15. Simulateur de conduite du Lescot



Le simulateur était également équipé de plusieurs caméras, une **vue avan**t permettant de connaître la progression du conducteur tout au long du parcours à réaliser ; une **vue conducteur** permettant de voir l'activité visuelle et les verbalisations du conducteur ; une **vue conducteur et environnement** permettant de voir le comportement global du conducteur (utilisation des clignotants, passage des vitesses, etc.) ; et enfin, **une vue sur les pédales** permettant de vérifier leur bonne utilisation. Ces informations étaient retransmises dans la régie du simulateur, où l'expérimentateur pouvait ainsi vérifier, à chaque instant, le bon déroulement de l'expérimentation. Un système de microphone et de récepteur permettait une interaction conducteur-expérimentateur, notamment pour donner les consignes avant le démarrage du scénario. La simulation de conduite était gérée grâce à cinq ordinateurs interconnectés.

Cinq situations de conduite ont été retenues dans le cadre de cette immersion sur simulateur. Trois niveaux de difficulté étaient disponibles pour chacune des situations entraînées (Tableau 8), et différentes variantes de décor ont également été développées afin de limiter les effets d'apprentissage d'une session d'entraînement à une autre (trois variantes pour le niveau facile, deux pour le niveau moyen et une pour le niveau difficile).

Situation de tourne-à-gauche à une intersection

Dans ce scénario, les participants devaient tourner à gauche à la prochaine intersection. Les objectifs pédagogiques relatifs à l'entraînement de cette situation étaient de i) signaler son intention de tourner à gauche avant d'arriver sur l'intersection, ii) se positionner correctement sur la chaussée avant de tourner à gauche pour ne gêner personne, et iii) choisir le meilleur intervalle entre les véhicules venant en sens inverse pour couper la voie en toute sécurité.

Situation de traversée de piéton

Dans ce scénario, les participants devaient conduire en ville, tout en restant sur la voie principale (pour le niveau facile) ou suivre les panneaux de déviation (pour les niveaux moyen et difficile). Ce scénario est une tâche de détection de dangers, car à un moment du parcours, un piéton s'engageait pour traverser la chaussée, sur un passage protégé. Cette tâche nécessite la détection, l'anticipation et la réaction adaptée à ce danger potentiel. Les objectifs pédagogiques relatifs à l'entraînement de cette situation étaient de i) décélérer à l'approche du passage protégé et ii) parvenir à ne pas mettre en danger le piéton qui traverse.

Situation de détection du passage d'un feu orange

Dans ce scénario, les participants devaient conduire en ville, tout en restant sur la voie principale (pour le niveau facile) ou suivre les panneaux de déviation (pour les niveaux moyen et difficile). Les participants devaient détecter le changement de couleur du feu puis agir de manière adaptée. Les objectifs pédagogiques relatifs à l'entraînement de cette situation étaient de : i) parvenir à détecter le changement de couleur du feu, et ii) prendre la bonne décision en fonction de la vitesse d'approche et des conditions de circulation, franchir le feu ou s'arrêter.

Situation de dépassement sur autoroute

Dans ce scénario les participants se trouvaient sur autoroute, ils devaient atteindre la vitesse de 130 km/h et dépasser successivement deux camions, en se rabattant entre chaque. Les objectifs pédagogiques relatifs à l'entraînement de cette situation étaient de i)

signaler son intention de dépasser à l'aide du clignotant, ii) vérifier son angle mort avant d'engager la manœuvre de dépassement, iii) avoir une vitesse adaptée à la situation et respecter les limitations de vitesse, iv) savoir se rabattre correctement, ne pas gêner le véhicule dépassé, et v) conserver les distances de sécurité, avant et après le dépassement.

Situation de suivi de véhicule

Dans ce scénario les participants se trouvaient sur une route en zone péri-urbaine puis rurale et devaient suivre le véhicule devant eux, sans jamais le dépasser. Ce scénario est une tâche d'attention soutenue et de détection d'un changement de vitesse du véhicule qui précède (Brookhuis, Waard, & Mulder, 1994). Les objectifs pédagogiques relatifs à l'entraînement de cette situation étaient : i) d'apprendre à apprécier la vitesse du véhicule qui précède et ajuster sa vitesse à la sienne, et ii) de maintenir une distance de sécurité adaptée.

Trois sessions de conduite sur simulateur ont eu lieu dans le cadre de l'expérimentation. Lors de chacune d'entre elles, les participants étaient confrontés à ces cinq situations. Tous les participants ont commencé l'immersion au niveau le plus simple. Grâce à des algorithmes affectant des points de pénalité pondérés en fonction du comportement du conducteur, un score de performance compris entre 0 et 100 était calculé pour chaque situation. Lorsque le score était égal ou inférieur à 50 points sur 100, le participant restait au même niveau et passait à nouveau cette situation de niveau de difficulté équivalent lors de l'entraînement suivant (mais avec une variante de décor différente). Lorsque le score était supérieur à 50 points sur 100, le participant pouvait accéder au scénario de niveau supérieur lors de son prochain entraînement. L'intérêt était de pouvoir évaluer quasiment en temps réel, via le simulateur, les performances de conduite et envoyer les données issues de l'évaluation au LMS qui fournissait alors un feedback au conducteur dès la fin de son exercice. Ce retour sur performance apparaissait à l'intérieur du véhicule sur un écran installé au niveau du siège passager. Si la note obtenue était inférieure à 50 points sur 100, ce retour précisait au participant les objectifs pédagogiques à atteindre pour parvenir au niveau supérieur. Si, au contraire, le participant réussissait la tâche, le feedback le félicitait pour sa performance et lui indiquait son passage au niveau de difficulté supérieur. Lorsque le participant désirait plus de renseignements sur ce qui c'était passé, l'expérimentateur pouvait donner quelques informations complémentaires spécifiques à la situation vécue par le participant.

Tableau 8. Description des cinq situations de conduite réalisées lors de l'immersion sur simulateur

Situation de conduite	Niveaux de difficulté	Contenu des situations
Tourne-à-gauche	1	Avec une voie de présélection
	2	Sans voie de présélection
	3	Sans voie de présélection et avec un véhicule derrière qui se rapproche en faisant des appels de phares
Traversée d'un piéton	1	Traversée de la route principale où se trouve le conducteur
	2	Traversée après que le conducteur ait tourné à droite à un feu
	3	Traversée d'un piéton masqué par un bus
Détection d'un feu orange	1	Aucun véhicule ne suit le conducteur
	2	Un véhicule suit le conducteur de loin (5 secondes)
	3	Un véhicule suit de près le conducteur (1 seconde)
Dépassement sur autoroute	1	Aucun véhicule ne suit le conducteur
	2	Un véhicule suit le conducteur et conserve sa distance de sécurité
	3	Un véhicule suit le conducteur et le dépasse avant le premier dépassement
Suivi de véhicule	1	Les variations de vitesse ont lieu régulièrement
	2 et 3	Les variations de vitesse sont de moins en moins régulières

II.4 Activité contrôle

Afin de répliquer autant que possible les conditions d'expérimentation des groupes expérimentaux, que ce soit au travers de la forme de l'activité, son support et son temps de réalisation, le groupe contrôle a réalisé une activité de lecture sur ordinateur. Les participants du groupe contrôle ont lu des articles de presse disponibles en ligne sur la plateforme SAFE MOVE et ont ensuite répondu à des quiz, une fois l'article terminé. Cette méthodologie a été inspirée des travaux de Mahncke et collaborateurs (2006) et de Smith et collaborateurs (2009). Les lecteurs recevaient ensuite un feedback sur leurs performances lors du quiz, ils savaient ainsi s'ils avaient répondu correctement et quelle était la bonne réponse, le cas échéant. Un grand nombre de thèmes variés était proposé afin de satisfaire les goûts et les centres d'intérêts de chacun des lecteurs (par exemple : le jardinage, la cuisine, les voyages, l'environnement, la santé, le bricolage, *etc.*). Les articles n'étaient consultables qu'une seule fois afin d'éviter une mémorisation du contenu entre chaque lecture.

II.5 Procédure

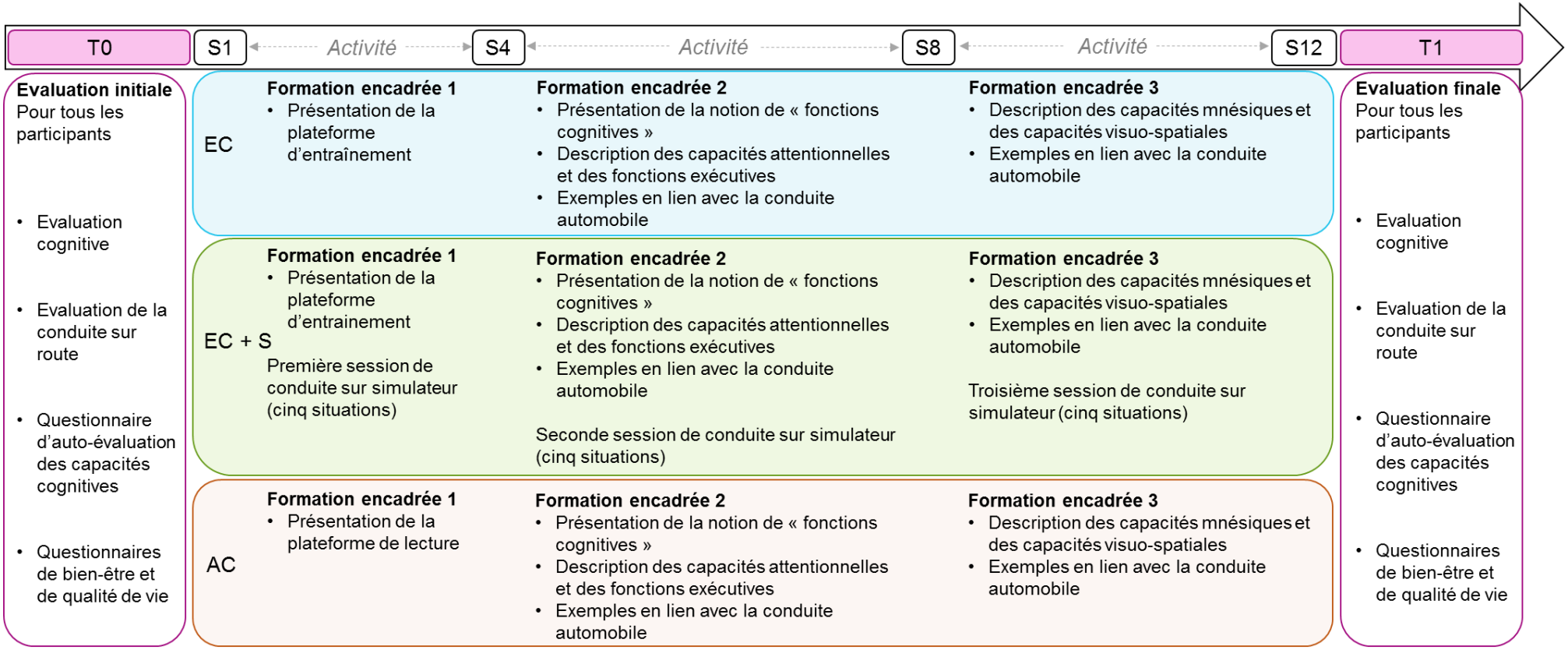
Dans cette partie sera décrit le déroulement de cette étude. Pour faciliter la compréhension, ces différentes étapes sont également présentées dans la Figure 16. Les différentes évaluations et questionnaires cités ci-après seront davantage détaillés dans les parties suivantes. En effet, bien qu'il s'agisse d'une seule expérimentation, elle a été découpée en quatre focus a posteriori, afin de répondre à quatre objectifs principaux différents.

La visite d'entrée dans le programme s'est opérée sur une demi-journée, toutes les évaluations qui la composaient étaient alors proposées aux participants. Ces évaluations individuelles seront détaillées dans la méthodologie propre à chaque étude. Les formulaires de consentements, de cession de droits à l'image et d'indemnisation étaient présentés et signés en doubles exemplaires (Annexe 2, page 248). Après avoir complété ces documents administratifs, les participants ont rempli des questionnaires et échelles relatifs au bien-être et à la qualité de vie (présentés dans la partie VI.2.2, page 161). Les participants poursuivaient leur demi-journée par une évaluation cognitive d'environ 50 minutes (présentée dans la partie III.2.2, page 102), puis ils faisaient une pause d'une quinzaine de minutes et continuaient par une évaluation de conduite sur route, d'environ 50 minutes également (présentée partie V.2.2, page 134).

Après cette visite d'entrée dans l'étude, les participants revenaient pour un second rendez-vous au laboratoire pour assister à une première formation encadrée. Au cours de cette formation, le programme d'entraînement et la plateforme d'apprentissage en ligne étaient présentés aux participants, par groupe de 6 à 10 personnes. Les participants des groupes expérimentaux (EC ou EC + S) n'étaient pas mélangés avec les participants du groupe contrôle. En effet, pour ces derniers, le concept d'entraînement n'était pas abordé, la notion de « stimulation » était préférentiellement utilisée. A partir de cette première formation encadrée, les participants ont débuté leur activité (entraînement cognitif ou lecture). Ils devaient effectuer cette activité à leur domicile, pendant trois mois, à raison de trois heures par semaine environ, soit une durée totale de trente-six heures. Deux autres formations encadrées ont eu lieu lors de la quatrième et de la huitième semaine d'activité. Au cours de ces formations, les participants échangeaient à propos de leurs réussites et de leurs difficultés et recevaient une présentation des fonctions cognitives entraînées afin de les motiver et de les impliquer davantage dans leur activité. Le contenu de ces formations était adapté au groupe considéré (expérimental ou contrôle), afin d'apporter une cohérence entre la présentation des fonctions cognitives et leur activité.

Les participants du groupe EC + S ont réalisé leur immersion sur simulateur lors des trois formations encadrées (en première, quatrième et huitième semaine). Ils venaient à tour de rôle, avant ou après la formation, conduire le simulateur pendant environ 20 min (environ quatre minutes de conduite par situation et cinq situations au total). Avant de réaliser leur première session de conduite, les participants ont conduit le simulateur une dizaine de minutes, dans un environnement urbain, afin de se familiariser avec le maniement de la voiture et l'environnement virtuel. A la fin du programme, les participants revenaient au laboratoire afin d'effectuer l'évaluation individuelle finale, similaire à celle de la visite d'entrée (évaluation cognitive, évaluation de la conduite sur route et évaluation du bien-être subjectif). Cette expérimentation a été approuvée par le comité d'éthique régional.

Figure 16. Récapitulatif des différentes étapes de l'étude



T0 : évaluation initiale. T1 : évaluation finale. S : Semaine. EC : Entraînement cognitif. EC + S : Entraînement cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle

III. Focus 1 : Entraînement cognitif informatisé et performances cognitives

III.1 Introduction

Le vieillissement de l'individu s'accompagne d'un déclin cognitif c'est-à-dire d'une diminution des capacités attentionnelles, des capacités mnésiques, de la vitesse de traitement ou encore des fonctions exécutives (Anstey & Low, 2004). Ce déclin cognitif et notamment exécutif entraîne des difficultés dans les activités de la vie quotidienne, telles que la conduite automobile (Anstey et al., 2005). Les effets du vieillissement normal sur le cerveau ne sont pas irrémédiables et de nouveaux apprentissages sont possibles. Le maintien ou l'amélioration des performances cognitives dans de nombreux domaines illustre que le cerveau demeure plastique (voir Kelly et al., 2014 ; Lustig et al., 2009 ; Martin et al., 2011 pour revues), même à un âge avancé (Fernández-Ballesteros et al., 2012). L'entraînement des fonctions cognitives permet également de prévenir ou de retarder la démence (Martin et al., 2011 ; Wilson et al., 2002). En 2014, Reuter-Lorenz et Park ont proposé le modèle STAC-r (pour *Scaffolding Theory of Aging and Cognition-revised*) qui décrit les effets du vieillissement sur le fonctionnement cognitif. D'après ce modèle, le cerveau est une structure dynamique capable de s'adapter aux modifications survenant avec l'âge en mettant en place des stratégies compensatoires structurales et fonctionnelles (aussi appelées « *scaffolding* » dans le modèle signifiant « échafaudage »). Ainsi, l'entraînement cognitif favoriserait la mise en place de ces stratégies compensatoires et permettrait aux personnes âgées de faire face aux effets du vieillissement.

Depuis une dizaine d'années, des chercheurs ont évalué l'efficacité de programmes d'entraînements cognitifs ciblés sur la vitesse de traitement et les capacités d'attention visuelle (attention divisée, attention sélective et détection d'éléments dans le champ visuel) auprès de conducteurs seniors (Dobres et al., 2013 ; Roenker et al., 2003 ; Sorenson, 2012 ; Staplin et al., 2013). Ces travaux ont montré une amélioration des performances au test de l'UFOV®, qui apparait être un bon indicateur du risque d'accidents (Ball, Owsley, Sloane, Roenker, & Bruni, 1993). Ainsi, l'entraînement de ces capacités permettrait de réduire le risque d'accidents des conducteurs seniors. L'activité de conduite est une activité complexe faisant appel aux fonctions cognitives, telles que la vitesse de traitement, les capacités attentionnelles, visuo-spatiales, mnésiques, mais également aux fonctions exécutives, telles que la flexibilité, la planification, les capacités de mise à jour ou l'inhibition. Le déclin des fonctions exécutives avec l'âge (Ridderinkhof, Span, & Van Der Molen, 2002 ; Sorel & Pennequin, 2008 ; Treitz, Heyder, & Daum, 2007) est associé à un plus grand risque

d'accidents sur la route (Daigneault, Joly, & Frigon, 2002 ; Stutts, Stewart, & Martell, 1998) et à une diminution des performances de conduite (Adrian, Postal, Moessinger, Rascle, & Charles, 2011 ; De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000). Sorenson (2012) n'a pas observé de transfert des bénéfices de l'entraînement de la vitesse de traitement et des capacités attentionnelles sur des tâches de raisonnement logique, qui font partie des fonctions exécutives. Or, d'autres études ont montré que ces fonctions exécutives pouvaient être améliorées chez les seniors à la suite d'entraînements spécifiques (voir Kueider et al., 2012 ; Kelly et al., 2014 pour revues). Ainsi, entraîner également les fonctions exécutives des conducteurs seniors semble nécessaire pour pouvoir réduire davantage le risque d'accident et, ainsi, améliorer la sécurité des conducteurs.

L'objectif de cette étude était de déterminer l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif informatisé, associé ou non à une immersion sur simulateur de conduite, sur les performances cognitives (vitesse de traitement, capacités attentionnelles et fonctions exécutives) de conducteurs seniors présentant un biais de calibration de leurs capacités cognitives. L'hypothèse formulée était que les participants des groupes expérimentaux (EC et EC + S) auraient davantage amélioré leurs performances cognitives après l'entraînement que les participants du groupe contrôle (AC). Plus particulièrement, au vu du contenu des exercices proposés lors de l'entraînement cognitif et des fonctions entraînées, une amélioration de la vitesse de traitement (mise en évidence par une diminution du temps de réponse aux tests), des capacités d'attention visuelle, de la mémoire de travail, de la flexibilité mentale et de l'inhibition était attendue. En revanche, aucune hypothèse sur le rôle joué par le simulateur de conduite sur les performances cognitives n'a été formulée car l'intervention proposée était une simple immersion de courte durée, ne pouvant pas être assimilée à un réel entraînement.

III.2 Méthodologie

III.2.1 Participants

Les participants inclus dans cette étude ont été recrutés au sein de la cohorte SAFE MOVE, parmi les conducteurs SE et SsE de leurs capacités cognitives, comme décrit dans la partie II.1.Participants.

III.2.2 Evaluation objective des performances cognitives

Les processus cognitifs ont été évalués objectivement au moyen de plusieurs tests neuropsychologiques normalisés, des tests dits « papier-crayons » et des tests

informatisés réalisés sur un micro-ordinateur avec un écran de 17 pouces et avec lequel les participants interagissaient au moyen de la barre d'espace du clavier et/ou de la souris.

III.2.2.1 *Le Trail Making Test*

Le TMT est un test papier-crayon au cours duquel le participant devait compléter deux planches (Reitan, 1958). Sur la planche A du TMT, le participant devait relier le plus vite possible et dans l'ordre croissant une série de chiffres (de 1 à 25) répartis sur une feuille de papier au format A4. Sur la planche B, le participant devait relier le plus vite possible, une série de chiffres (de 1 à 13) et de lettres (de A à L) en respectant une alternance chiffre-lettre, dans l'ordre croissant pour les chiffres et alphabétique pour les lettres. Ce test évaluait la vitesse de traitement ainsi que les stratégies de recherche visuelle. Les variables dépendantes issues de ce test étaient : le temps mis pour réaliser chaque planche (TMT-A et le TMT-B), en secondes, le nombre de bons déplacements, et le nombre de persévération (pour le TMT-B). Une persévération correspondait à une erreur faite lors de la réalisation de la planche B, lorsque le participant n'avait pas respecté l'alternance chiffre-lettre (par exemple : 1-A-2-B-3-C-D-4…).

III.2.2.2 *Le test des codes de Wechsler*

Cette épreuve issue de la WAIS consistait à réaliser, en quatre-vingt-dix secondes, un maximum de combinaisons chiffre-symbole selon un modèle imposé et d'après une liste de chiffres indiquée (Wechsler, 1981). La variable dépendante issue de ce test était le nombre de bons symboles complétés.

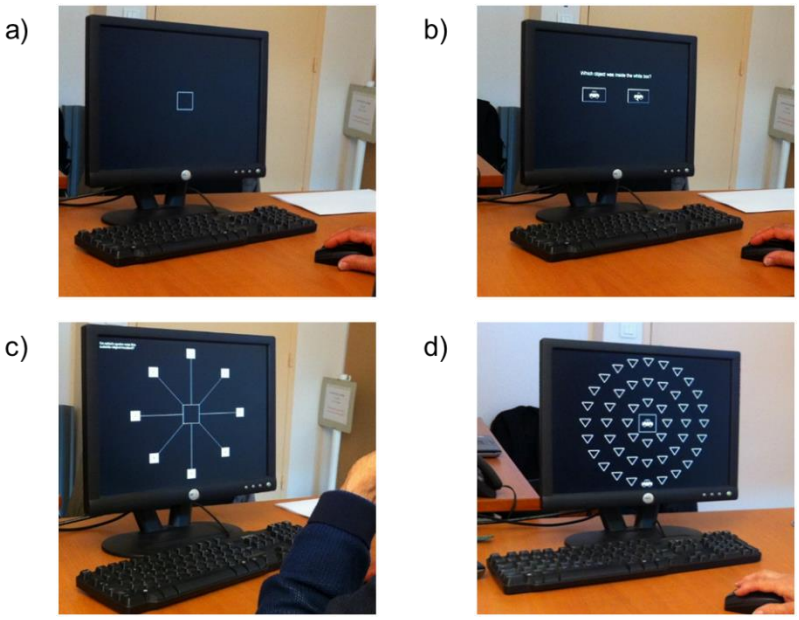
III.2.2.3 *Le test de Stroop*

Le test de Stroop est un test papier-crayon comportant trois planches (Stroop, 1935). Sur la première se trouvaient des rectangles de couleurs différentes (rouges, bleus ou verts). Le participant devait donner le plus rapidement possible la couleur des rectangles qu'il avait sous les yeux (condition dénomination). Sur la seconde planche se trouvaient des noms de couleurs écrits à l'encre noire. Le participant devait lire les mots figurant sur cette planche, le plus rapidement possible (condition lecture). Enfin, la dernière planche comportait des noms de couleurs écrits en couleur. Le participant devait énoncer le mot et inhiber la dénomination de la couleur de l'encre avec laquelle ce mot était écrit (condition interférence). Les variables dépendantes issues de ce test étaient : les temps (en secondes) mis pour réaliser chacune des trois conditions (dénomination, lecture et interférence) et le nombre de bonnes réponses données en conditions interférence.

III.2.2.4 *Le test de l'UFOV®*

Ce test informatisé rend compte de la vitesse de traitement et des capacités visuo-spatiales et attentionnelles du participant (Ball, Owsley, & Beard, 1990 ; Sanders, 1970). Ce test comprenait trois sous-tâches : la première mesurait un seuil de vitesse de traitement, la seconde mesurait ce même seuil de vitesse de traitement lors d'une tâche d'attention divisée, et la dernière mesurait le seuil de vitesse de traitement lors d'une tâche d'attention sélective. Dans chacune de ces sous-tâches, des cibles apparaissant dans un carré blanc sur fond noir, étaient présentées à l'écran sur une période de temps courte et variable (comprise entre 16,67 et 500 ms). Dans la première sous-tâche, le participant devait identifier si la cible présentée brièvement au centre de l'écran (Figure 17– a) était un camion ou une voiture (les deux items étant visuellement ressemblants, Figure 17– b). Cette tâche s'adaptait aux performances du participant : le temps de présentation de la cible diminuait au fur et à mesure des essais, tant que le participant parvenait à réussir au moins 75 % des essais pour un temps de présentation donné. Lors de la seconde sous-tâche, le participant devait indiquer si la cible présentée au centre de l'écran était un camion ou une voiture, et restituer, parmi huit positions possibles autour de la cible (Figure 17– c), celle où était apparue simultanément une deuxième cible (voiture). La consigne de la troisième sous-tâche était similaire à la seconde, mais de nombreux distracteurs apparaissaient en même temps que les deux cibles à identifier (Figure 17– d). Les variables dépendantes issues de ce test étaient : les temps de réalisation de chacune des sous-tâches (vitesse de traitement, attention divisée et attention sélective), exprimés en millisecondes, correspondant aux seuils minimaux d'identification de la cible.

Figure 17. Visuels issus du test de l'UFOV®



III.2.2.5 *Le test d'alerte phasique*

Le test d'alerte phasique fait partie de la batterie standardisée des tests d'évaluation de l'attention (Zimmermann & Fimm, 1995). Ce test informatisé évalue la vitesse de traitement de l'information du participant et ses capacités d'alerte. Cette épreuve de type détection du signal comprenait quatre étapes. Dans la première et dans la dernière étape, le participant devait presser la touche espace du clavier dès l'apparition d'une cible à l'écran. Lors des deuxième et troisième étapes, le participant devait exécuter la même consigne, tout en inhibant sa réponse face à un stimulus auditif (un bip sonore) présenté juste avant l'apparition de la cible visuelle. Ce test consiste à mesurer la capacité à inhiber une réponse motrice en fonction de la prise en compte d'un signal sonore. Les variables dépendantes issues de ce test étaient les temps de réaction moyens pour les réponses correctes (en millisecondes) dans les conditions avec et sans signal.

III.2.2.6 *Le test d'empan mnésique*

Cette épreuve issue de la WAIS (Wechsler Adult Intelligent Scale ; Wechsler, 1981) consistait à évaluer l'empan mnésique au travers de tâches de répétitions de chiffres à l'endroit (de 3 à 9 items) et à l'envers (de 2 à 8 items). Ce dernier implique tout autant la mémoire de travail que la mémoire à court terme. Les variables dépendantes issues de ce test étaient la taille des empans endroit et envers, exprimée en nombre d'items retenus.

III.2.3 Analyse des données

Dans un premier temps, la normalité de la distribution des variables dépendantes présentées ci-dessus a été vérifiée grâce au test de Shapiro-Wilk. Afin de s'assurer que les participants des trois groupes avaient le même niveau de performance de base, les performances aux tests cognitifs obtenues lors de l'évaluation initiale ont été comparées entre les trois groupes (EC, EC + S et AC). Pour réaliser cette comparaison intergroupe, une ANOVA de Kruskal-Wallis (test non paramétrique car les variables ne suivaient pas une distribution normale) a été utilisée avec, comme variable indépendante, le groupe à trois modalités. Puis, une comparaison post-hoc des rangs moyens a été réalisée lorsqu'une différence significative entre les trois groupes était mise en évidence.

Dans un second temps, la comparaison intra-groupe entre les résultats obtenus avant les interventions, lors de l'évaluation initiale (T0) et les résultats obtenus après les interventions, lors de l'évaluation finale (T1), a été réalisée pour chacun des groupes (EC, EC + S et AC) de manière indépendante. La comparaison des moyennes de ces échantillons appariés a été réalisée grâce au test non paramétrique de Wilcoxon.

Dans un troisième temps, comme les ANOVA non paramétriques ne peuvent être effectuées sur des mesures répétées en s'affranchissant des écarts sur les niveaux de base, un score de changement a été calculé afin de pouvoir quantifier l'effet de nos interventions et ainsi comparer les groupes entre eux (c'est-à-dire : entraînement cognitif couplé ou non avec l'immersion sur simulateur de conduite ou activité contrôle). Ce score de changement a été calculé de la manière suivante :

$$Score\ de\ changement = Score\ obtenu\ lors\ de\ l'évaluation\ T1 - Score\ obtenu\ lors\ de\ l'évaluation\ T0$$

Les participants avaient amélioré leurs performances à la suite des interventions si :

- le score de changement était **négatif** pour les variables liées au temps de réaction et au nombre d'erreurs (temps par déplacement au TMT-A et au TMT-B, nombre d'erreurs au TMT-B, nombre d'erreurs au test des codes, temps de réponse au test de Stroop dans les trois conditions – dénomination, lecture et interférence – , temps de réaction aux trois sous-tâches du test de l'UFOV®, temps de réaction pour les réponses correctes lors du test d'alerte phasique dans les deux conditions – avec ou sans signal avertisseur –)
- le score de changement était **positif** pour les autres variables (nombre de bons symboles au test des codes, nombre de bonnes réponses au test de Stroop dans la condition interférence et les empans endroit et envers).

Puis, pour que tous ces scores de changement soient comparables entre eux, une transformation de chacune des valeurs en z-scores standardisés a été effectuée de la manière suivante :

$$z - score = \frac{Score\ de\ changment\ pour\ chaque\ participant - moyenne\ de\ l'échantillon}{écart - type\ de\ l'échantillon}$$

Une comparaison des scores de changement entre les groupe EC et EC + S a été réalisée afin de déterminer si ces deux groupes pouvaient être réunis. En effet, les participants de ces deux groupes ont suivi le même entraînement cognitif et la seule différence était l'immersion sur le simulateur de conduite, d'une durée totale d'une heure. Cette comparaison a été faite sur les scores transformés (z-scores) grâce à une analyse de variance à un facteur : le groupe d'entraînement, à deux modalités (EC et EC + S).

Enfin, l'effet de l'entraînement cognitif sur les performances cognitives des participants a été évalué grâce à deux modèles de régression linéaire. Tout d'abord deux analyses en uni-varié ont été réalisées pour observer le changement entre les deux évaluations en tenant compte : i) de l'effet du **type d'intervention** (entraînement cognitif ou activité contrôle) et ii) de l'effet du **temps d'entraînement cognitif** (variable quantitative

continue pour les participants des groupes EC et EC + S, ce temps étant à zéro pour les participants du groupe AC). Les variables dépendantes pour lesquelles un changement entre les deux évaluations a été constaté ont été sélectionnées à un seuil de signification inférieur à 0,10. Ensuite, deux modèles multivariés prenant en compte : i) le type d'intervention, et ii) le temps d'entraînement, et ajustés sur le sexe, l'âge, et le niveau de diplôme, ont été réalisés sur les variables dépendantes sélectionnées précédemment lors de l'analyse en uni-varié.

III.3 Résultats

III.3.1 Caractéristiques de l'échantillon

Parmi les cent-six participants ayant accepté de participer à l'étude :

- 51 participants ont été inclus dans le groupe EC, mais 9 ont abandonné ou n'ont pu être recontactés pour l'évaluation finale. Ainsi, les données de 42 participants ont pu être exploitées dans ce groupe.
- 34 participants ont été inclus dans le groupe EC + S, mais 4 ont abandonné ou n'ont pu être recontactés pour l'évaluation finale et 1 a été exclu car il ne réalisait pas l'entraînement. Ainsi, les données issues de 28 participants ont pu être exploitées dans ce groupe.
- 21 participants ont été inclus dans le groupe AC, mais 2 ont abandonné et 1 est décédé. Ainsi, les données issues de 18 participants ont pu être analysées dans ce groupe.

Un total de 88 participants (59 hommes et 29 femmes, âgés de 75,4 ± 3,8 ans) est parvenu à terminer l'étude (Tableau 9). Bien que la différence de proportion entre les trois groupes ne soit pas significative, il y avait plus d'hommes (67 %) que de femmes dans notre échantillon. Cette différence de proportion reflète celle observée au sein de la cohorte SAFE MOVE, dans laquelle il y avait 63 % d'hommes. En outre, l'écart d'effectif entre les deux groupes expérimentaux s'explique par le fait que neuf personnes qui se trouvaient initialement dans le groupe EC + S ont été affectées dans le groupe EC car elles ont été malades sur le simulateur lors de l'épisode de familiarisation et n'auraient pas pu réaliser l'immersion. Enfin, le faible effectif du groupe contrôle est dû à des difficultés de recrutements des participants. En effet, il n'y avait plus de participants SsE de leurs capacités cognitives à contacter parmi les individus de la cohorte SAFE MOVE du Rhône, et, afin d'éviter de déséquilibrer le groupe en termes de statut de calibration (SE, SsE), le recrutement a été arrêté.

Tableau 9. Caractéristiques générales des participants de chaque groupe

		EC n = 42	EC + S n = 28	AC n = 18	p
Âge (ans)	moy (E-T)	74,3 (3,4)	76,0 (4,3)	76,1 (4,0)	0,11[a]
Sexe	Hommes	25	20	14	
	Femmes	17	8	4	0,32[b]
Statut	SE	23	14	13	
	SsE	19	14	5	0,31[b]
Niveau d'étude	Sans diplôme	7	3	5	
	BEP / CAP / Brevet	8	11	2	
	Baccalauréat et +	27	14	11	0,14[b]
Temps d'entraînement (h)	moy (E-T)	30,3 (10,6)	27,0 (11,1)	-	0,23[a]
Intervalle T1-T0 (j)	moy (E-T)	100,6 (24,8)	107,4 (31,7)	91,2 (13,4)	0,12[a]

EC = Entraînement Cognitif. EC + S = Entraînement cognitif + Simulateur. AC = Activité contrôle. moy = Moyenne. E-T = Ecart-Type. SE = Sur-Estimateurs. SsE = Sous-Estimateurs. BEP = Brevet d'Etudes Professionnelles. CAP = Certificat d'Aptitude Professionnelle. T0 = évaluation initiale. T1 = évaluation finale. [a] test de Student. [b] test du khi².

III.3.2 Comparaison des performances cognitives de base entre les groupes

Afin de vérifier si les participants des deux groupes expérimentaux (EC et EC + S) et du groupe contrôle (AC) avaient des niveaux de performance comparables lors de l'évaluation cognitive initiale, leurs performances lors de l'évaluation initiale (T0) ont été comparées grâce à une ANOVA non paramétrique de Kruskal-Wallis.

III.3.2.1 *Trail Making Test*

Les performances des participants au TMT n'étaient pas significativement différentes entre les trois groupes lors de l'évaluation initiale (Tableau 10). L'analyse n'a pas révélé d'effet du groupe sur le temps par déplacement au TMT-A, ni sur le nombre d'erreurs au TMT-B. Néanmoins, les participants du groupe AC tendaient à être un peu plus lents au TMT-B que les participants des deux autres groupes lors de la réalisation de cette épreuve.

III.3.2.2 *Test des codes de Wechsler*

Les performances des participants au test des codes de la WAIS lors de l'évaluation initiale ne différaient pas significativement entre les trois groupes (EC, EC + S et AC,

Tableau 10). L'analyse n'a pas mis en évidence d'effet du groupe sur le nombre de bons symboles, ni sur le nombre d'erreurs.

III.3.2.3 *Test de Stroop*

Aucun effet du groupe sur le temps de réponse au test de Stroop dans la condition lecture, ni sur le nombre de bonnes réponses données dans la condition interférence n'a été mis en évidence lors de l'évaluation initiale (Tableau 10). En revanche, les temps de réponse des participants dans les conditions dénomination et interférence étaient significativement différents entre les trois groupes (EC, EC + S et AC). Les participants du groupe AC ont mis significativement plus de temps à réaliser ces conditions que les participants du groupe EC + S ($p = 0,01$ pour le temps de réponse en condition dénomination et $p = 0,04$ pour le temps de réponse en condition interférence). Aucune différence significative entre le groupe EC et les autres groupes n'a été observée.

III.3.2.4 *Test de l'UFOV®*

Les performances au test de l'UFOV® n'étaient pas différentes entre les groupes lors de l'évaluation initiale (Tableau 10). Aucune différence significative entre les groupes n'a été mise en évidence pour les performances aux sous-tâches de vitesse de traitement, d'attention divisée ou d'attention sélective.

III.3.2.5 *Test d'alerte phasique*

Un participant du groupe EC n'a pas pu réaliser cette épreuve à cause d'un problème informatique. Les analyses ont donc été réalisées sur les données de 87 participants au total. Les performances au test de l'alerte phasique n'étaient pas différentes entre les trois groupes lors de l'évaluation initiale (Tableau 10). Aucun effet du groupe sur les temps de réaction moyens pour les réponses correctes dans les conditions avec ou sans signal avertisseur n'a été montré.

III.3.2.6 *Test d'empan mnésique*

Aucun effet du groupe sur l'empan endroit n'a été mis en évidence, en revanche, un effet du groupe sur l'empan envers, proche de la significativité ($p = 0,08$) a été rapporté. Les participants du groupe EC avaient un empan envers légèrement plus élevé que les participants des deux autres groupes.

Pour conclure, les résultats des différentes analyses statistiques réalisées sur les données recueillies lors de l'évaluation à T0 indiquent quelques rares écarts sur les

performances cognitives de base pour les participants des trois groupes. Les seules différences significatives mises en évidence concernent les temps de réalisation des conditions dénomination et interférence au test de Stroop. Par conséquent, les performances des participants des trois groupes (EC, EC + S et AC) sont comparables.

Tableau 10. Comparaison des performances cognitives initiales

	EC (n= 42)	EC +S (n = 28)	AC (n = 18)	H	p[a]
Trail Making Test					
TMT-A temps/dépl. (s)	1,8 (0,7)	1,5 (0,5)	1,8 (0,6)	3,53	0,17
TMT-B temps/dépl. (s)	3,7 (1,5)	3,4 (1,2)	4,2 (1,3)	4,79	0,09†
TMT-B Erreurs	0,9 (1,6)	0,5 (0,9)	0,4 (0,6)	0,45	0,80
Test des Codes					
Nombre de bons symboles	43,9 (12,4)	44,8 (10,1)	39,2 (8,2)	3,06	0,22
Nombre d'erreurs	1,5 (2,1)	1,6 (2,3)	0,7 (0,9)	1,68	0,43
Test de Stroop					
Temps_Dénomination (s)	69,5 (13,4)	66,8 (14,6)	76,5 (13,0)	8,46	0,01*
Temps_Lecture (s)	48,2 (9,6)	47,2 (10,7)	48,9 (8,2)	1,91	0,38
Temps_Interférence (s)	140,7 (47,1)	126,9 (26,2)	148,3 (27,2)	6,29	0,04*
Nombre de bonnes réponses _ Interférence	97,3 (3,7)	97,6 (2,9)	98,4 (1,1)	0,03	0,98
Test de l'UFOV®					
Vitesse de traitement	37,6 (32,8)	34,2 (27,8)	31,7 (29,8)	1,86	0,40
Attention divisée	116,9 (100,4)	115,7 (95,6)	124,8 (81,3)	0,60	0,74
Attention sélective	269,3 (112,4)	231,3 (89,1)	260,6 (50,0)	2,66	0,26
Alerte phasique					
TR réponses correctes_ condition sans signal (ms)	401,2 (98,7)[b]	411,4 (132,3)	386,7 (39,7)	0,53	0,77
TR réponses correctes_ condition avec signal (ms)	405,8 (91,0)[b]	415,0 (154,3)	459,4 (274,0)	1,41	0,49
Empan					
Endroit	5,6 (1,2)	5,4 (1,0)	5,8 (0,9)	1,09	0,58
Envers	4,3 (1,0)	3,9 (1,0)	3,8 (0,9)	5,16	0,08†

*EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle. TR : Temps de Réaction. Valeurs présentées : moyenne (écart-type). p : p-valeur. [a] = ANOVA de Kruskal-Wallis. [b] = valeur obtenues sur 41 participants. * p < 0,05. † p < 0,10.*

III.3.3 Evolution des performances cognitives à la suite de chaque intervention

Les performances entre les deux évaluations à T0 et à T1 ont été comparées au sein de chaque groupe afin d'évaluer l'effet des différentes interventions proposées

(entraînement cognitif associé ou non à l'immersion sur simulateur et activité contrôle) sur les performances cognitives des participants (Tableau 11).

III.3.3.1 *Trail Making Test*

Les participants des trois groupes n'ont pas modifié leur vitesse de réalisation du TMT-A à la suite des interventions (EC, EC + S ou AC, Tableau 11). En revanche, les participants du groupe EC + S ont mis significativement moins de temps à réaliser le TMT-B ($p = 0,048$) et que les participants des deux groupes expérimentaux ont fait moins d'erreurs de persévération ($p = 0,08$ pour le groupe EC et $p = 0,02$ pour le groupe EC + S) à la suite de l'entraînement. Ces résultats indiquent que l'entraînement cognitif a permis aux participants d'améliorer leurs capacités de flexibilité mentale. Enfin, les participants du groupe AC ont eu tendance à être plus rapides pour réaliser le TMT-B ($p = 0,08$) à la suite de l'intervention.

III.3.3.2 *Test des codes de Wechsler*

Seuls les participants du groupe EC ont amélioré leurs performances au test des codes et ont complété significativement plus de bons symboles à la suite de l'entraînement ($p = 0,04$, Tableau 11). Ce résultat indique que l'entraînement cognitif a permis une amélioration de la vitesse de traitement de l'information.

III.3.3.3 *Test de Stroop*

Les participants du groupe AC ont significativement diminué leur temps de réponse dans la condition dénomination des couleurs au test de Stroop ($p = 0,03$, Tableau 11). Cependant, lors de l'évaluation initiale, ce groupe AC était significativement plus lent lors de la réalisation de cette condition du Stroop que les deux autres groupes expérimentaux. Les résultats ne mettent pas en évidence de modification à la suite des interventions pour les autres variables du Stroop pour aucun des groupes.

III.3.3.4 *Test de l'UFOV®*

Les participants du groupe EC ont significativement amélioré leurs performances à la sous-tâche de vitesse de traitement de l'UFOV® ($p < 0,01$) et les participants des groupes EC et EC + S ont significativement amélioré leurs performances à la sous-tâche d'attention divisée ($p < 0,01$ et $p = 0,001$, respectivement) et à la sous-tâche d'attention sélective ($p < 0,01$, Tableau 11). Ces résultats reflètent une amélioration de la vitesse de traitement et des capacités d'attention visuelle divisée et sélective. En outre, les participants du groupe

AC ont eu tendance à améliorer leurs performances à la sous-tâche d'attention divisée ($p = 0,05$) et les ont significativement améliorées à la sous-tâche d'attention sélective ($p = 0,03$). Ces résultats indiquent que le groupe AC a également amélioré ses capacités d'attention visuelle divisée et sélective à la suite de l'intervention.

III.3.3.5 *Test d'alerte phasique*

Les performances au test d'alerte phasique n'ont pas été modifiées par les interventions pour aucun des trois groupes. Les temps de réaction moyens pour les réponses correctes dans les conditions avec ou sans signal avertisseur obtenus lors de l'évaluation finale ne diffèrent pas significativement de ceux obtenus lors de l'évaluation finale pour les trois groupes (EC, EC + S et AC).

III.3.3.6 *Test d'empan mnésique*

Pour le test d'empan mnésique, aucune modification de l'empan endroit à la suite des interventions n'a été mise en évidence pour aucun des trois groupes. En revanche, les participants du groupe EC + S avaient tendance à rappeler plus de chiffres à l'envers à la suite de l'entraînement ($p = 0,09$) et les participants du groupe AC ont significativement amélioré leur empan envers à la suite de l'intervention ($p = 0,04$). Il faut cependant rappeler que les participants de ces deux groupes avaient des performances légèrement plus faibles que ceux du groupe EC lors de l'évaluation initiale.

Tableau 11. Comparaison des performances après chaque intervention

	EC (n= 42)		Z	p[a]	EC +S (n = 28)		Z	p[a]	AC (n = 18)		Z	p[a]
	T0	T1			T0	T1			T0	T1		
Trail Making Test												
TMT-A temps/dépl. (s)	1,8 (0,7)	1,7 (0,6)	0,50	0,62	1,5 (0,5)	1,7 (0,7)	1,40	0,16	1,8 (0,6)	1,8 (0,7)	0,96	0,34
TMT-B temps/dépl. (s)	3,7 (1,5)	3,6 (1,7)	0,25	0,81	3,4 (1,2)	3,1 (1,1)	1,97	0,048*	4,2 (1,3)	3,6 (1,4)	1,76	0,08†
TMT-B Erreurs	0,9 (1,6)	0,4 (0,8)	1,76	0,08†	0,5 (0,9)	0,04 (0,2)	2,52	0,02*	0,4 (0,6)	1,2 (4,5)	0,94	0,35
Test des Codes												
Nombre de bons symboles	43,9 (12,4)	46 (11,8)	2,07	0,04*	44,8 (10,1)	45,5 (10,6)	0,84	0,40	39,2 (8,2)	38,7 (8,9)	0,72	0,47
Nombre d'erreurs	1,5 (2,1)	1,4 (1,5)	0,29	0,77	1,6 (2,3)	1,5 (2,6)	0,31	0,76	0,7 (0,9)	1,1 (1,2)	0,21	0,21
Test de Stroop												
Temps_Dénomination (s)	69,5 (13,4)	68,2 (10,9)	1,53	0,12	66,8 (14,6)	65,5 (12,2)	1,06	0,29	76,5 (13,0)	70,7 (13,3)	2,22	0,03*
Temps_Lecture (s)	48,2 (9,6)	48 (8,8)	1,17	0,24	47,2 (10,7)	46,8 (8,9)	0,32	0,74	48,9 (8,2)	49 (7,3)	0,09	0,92
Temps_Interférence (s)	140,7 (47,1)	137,6 (51,6)	1,51	0,13	126,9 (26,2)	127 (27,0)	0,24	0,81	148,3 (27,2)	146,7 (37,7)	1,24	0,21
Nombre de bonnes réponses _ Interférence	97,3 (3,7)	97,2 (6,2)	0,79	0,43	97,6 (2,9)	97,9 (1,8)	0,16	0,88	98,4 (1,1)	97,9 (2,7)	0,09	0,92

*EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle. T0 : évaluation initiale. T1 : évaluation finale. TR : Temps de Réaction. Valeurs présentées : moyenne (écart-type). p : p-valeur. [a] = test non paramétrique de Wilcoxon. * p < 0,05. † p < 0,10.*

Tableau 11. Comparaison des performances après chaque intervention (suite et fin)

	EC (n= 42)		Z	p[a]	EC +S (n = 28)		Z	p[a]	AC (n = 18)		Z	p[a]
	T0	T1			T0	T1			T0	T1		
Test de l'UFOV®												
Vitesse de traitement	37,6 (32,8)	23,1 (9,4)	3,11	<0,01*	34,2 (27,8)	25,9 (17,5)	1,51	0,13	31,7 (29,8)	26,1 (14,6)	0,63	0,53
Attention divisée	116,9 (100,4)	82,8 (89,3)	2,85	<0,01*	115,7 (95,6)	73,6 (67,4)	3,27	0,001*	124,8 (81,3)	88,6 (112,9)	1,89	0,06†
Attention sélective	269,3 (112,4)	219,5 (95,4)	2,62	<0,01*	231,3 (89,1)	218,3 (145,7)	2,96	<0,01*	260,6 (50,0)	212 (74,5)	2,15	0,03*
Alerte phasique												
TR réponses correctes_condition sans signal (ms)	401,2 (98,7)	391,5 (61,0)	0,38	0,70	411,4 (132,3)	412,9 (114,1)	0,73	0,47	386,7 (39,7)	380,6 (56,5)	0,71	0,48
TR réponses correctes_condition avec signal (ms)	405,8 (91,0)	389,8 (63,9)	1,18	0,24	415,0 (154,3)	410,3 (134,1)	0,27	0,79	459,4 (274,0)	406,7 (53,1)	0,07	0,95
Empan												
Endroit	5,6 (1,2)	5,6 (1,0)	0,27	0,79	5,4 (1,0)	5,8 (1,0)	1,28	0,20	5,8 (0,9)	5,4 (1,2)	1,60	0,11
Envers	4,3 (1,0)	4,5 (1,1)	0,72	0,47	3,9 (1,0)	4,4 (1,2)	1,69	0,09†	3,8 (0,9)	4,1 (1,0)	2,02	0,04*

*EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle. T0 : évaluation initiale. T1 : évaluation finale. TR : Temps de Réaction. Valeurs présentées : moyenne (écart-type).p : p-valeur. [a] = test non paramétrique de Wilcoxon. * p < 0,05. † p < 0,10.*

III.3.4 Evaluation de l'efficacité des interventions

Afin de déterminer si les deux groupes ayant suivi l'entraînement cognitif (EC et EC + S) pouvaient être réuni, une comparaison des scores de changement entre les deux groupes a été réalisée grâce à un test de Mann-Whitney (Tableau 12).

Tableau 12. Comparaison des scores de changements entre les deux groupes expérimentaux

	EC (n= 42)	EC +S (n = 28)	U	p[a]
Trail Making Test				
TMT-A temps/dépl. (s)	-0,1 (0,6)	0,11 (0,4)	483,5	0,21
TMT-B temps/dépl. (s)	-0,1 (1,3)	0,3 (1,0)	499	0,29
TMT-B Erreurs	-0,5 (1,7)	-0,5 (0,9)	541,5	0,58
Test des Codes				
Nombre de bons symboles	2,1 (4,9)	0,8 (6,2)	554,5	0,69
Nombre d'erreurs	0,0 (1,8)	-0,1 (2,9)	548	0,64
Test de Stroop				
Temps_Dénomination (s)	-1,3 (7,1)	-1,0 (4,6)	555	0,70
Temps_Lecture (s)	-0,3 (6,5)	-0,2 (4,6)	552,5	0,67
Temps_Interférence (s)	-3,7 (14,6)	0,1 (19,1)	507	0,33
Nombre de bonnes réponses _ Interférence	-0,1 (4,0)	0,2 (2,7)	558	0,72
Test de l'UFOV®				
Vitesse de traitement	-12,6 (26,0)	-9,0 (22,3)	520	0,42
Attention divisée	-35,3 (76,7)	-40,0 (55,4)	577	0,90
Attention sélective	-50,0 (111,5)	-23,6 (57,2)	547	0,63
Alerte phasique				
TR réponses correctes_condition sans signal (ms)	-0,01 (0,1)[b]	-0,0003 (0,1)	553	0,68
TR réponses correctes_condition avec signal (ms)	-0,02 (0,1)[b]	-0,01 (0,1)	560,5	0,75
Empan				
Endroit	0,02 (1,3)	0,3 (1,2)	494	0,26
Envers	0,0 (1,3)	-0,1 (1,2)	461	0,13

*EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. TR : Temps de Réaction. Valeurs présentées : moyenne (écart-type). p : p-valeur. [a] = test U de Mann-Whitney. [b] = valeur obtenues sur 41 participants. * p < 0,05. [†] p < 0,10.*

Les analyses n'ont révélé aucune différence significative entre les deux groupes pour aucune des variables dépendantes considérées, indiquant que l'immersion sur simulateur n'avait pas eu de conséquences sur les performances cognitives des participants et que les participants des deux groupes avaient eu les mêmes trajectoires de modification de leurs performances cognitives entre T1 et T0. Ainsi, du fait que les participants de ces deux groupes aient suivi le même entraînement cognitif informatisé et que l'immersion sur simulateur de conduite n'ait pas influencé les performances à T1, les deux groupes pouvaient donc être réunis pour statuer sur l'efficacité de l'entraînement cognitif.

Une analyse de régression multiple a été réalisée afin de déterminer, si, d'une part, l'entraînement cognitif était plus efficace que l'activité contrôle pour améliorer les performances cognitives évaluées par les différents tests (effet du « type d'intervention »), et, si, d'autre part, la durée de l'entraînement cognitif impactait le gain dû à l'entraînement (effet du « temps d'entraînement »). A la suite de la régression multiple, i) deux variables explicatives sont sorties comme étant proches du seuil de signification en uni-varié pour le type d'intervention : le **temps dans la condition dénomination du test de Stroop** (β = 0,51 ; p = 0,05 ; indiquant que les participants du groupe contrôle tendaient à avoir davantage amélioré leurs performances que ceux du groupe expérimental) et **l'empan endroit** (β = 0,45 ; p = 0,09, indiquant que les participants du groupe expérimental tendaient à avoir plus amélioré leur empan endroit que ceux du groupe contrôle), et ii) deux variables explicatives sont sorties comme étant significatives ou proches du seuil de signification en uni-varié pour le temps d'entraînement : **l'empan endroit** (β = 0,01 ; p = 0,04, indiquant que, plus les participants du groupe expérimental avaient passé de temps à s'entraîner, plus ils avaient amélioré leur empan endroit) et **le nombre de bonnes réponses au Stroop dans la condition interférence** (β = 0,01 ; p = 0,06, indiquant que, plus les participants du groupe expérimental avaient passé de temps à s'entraîner, plus ils avaient tendance à donner de bonnes réponses lors de la condition interférence du test de Stroop).

Le modèle multivarié ajusté sur l'âge, le sexe et le niveau de diplôme a fait ressortir l'effet de l'entraînement sur le temps de dénomination au test de Stroop, proche de la signification (β = 0,51 ; p = 0,06). Ce résultat indique que les participants du groupe contrôle ont eu tendance à davantage améliorer leur vitesse de dénomination des couleurs que les participants ayant réalisé l'entraînement cognitif. Le modèle multivarié a également fait ressortir un effet du temps d'entraînement sur l'empan endroit (β = 0,014 ; p = 0,04). Ce résultat indique que les participants ayant réalisé l'entraînement cognitif ont davantage rappelé de chiffres à l'endroit lors de la tâche d'empan que les participants du groupe contrôle.

III.4 Discussion

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif adressé aux conducteurs seniors présentant un biais de calibration de la cognition sur l'amélioration de leurs performances cognitives. Les fonctions cognitives étudiées ont été choisies de par leur lien avec l'activité de conduite automobile (vitesse de traitement, capacités attentionnelles, capacités visuo-spatiales, fonctions exécutives, mémoire de travail et mémoire spatiale). Dans ce focus, afin d'éviter d'être confronté à un problème de sur-ajustement statistique, le statut de calibration des capacités cognitives n'a pas été pris en compte dans l'analyse car les deux tests ayant permis la définition des statuts de calibration (*i.e.* le TMT et les codes de la WAIS) font partie de la batterie de tests d'évaluation cognitive.

L'entraînement cognitif proposé, ciblant les capacités attentionnelles, visuo-spatiales, mnésiques et les fonctions exécutives, a permis l'amélioration de la flexibilité mentale, de la vitesse de traitement et des capacités d'attention visuelle divisée et sélective. Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature ayant montré que l'entraînement de la vitesse de traitement (Smith et al., 2009 ; Wadley et al., 2006), des capacités attentionnelles (Mozolic, Long, Morgan, Rawley-Payne, & Laurienti, 2011) ou de plusieurs fonctions cognitives par le biais d'un jeu vidéo (Nouchi et al., 2012) améliorait ces fonctions. En outre, la régression multiple a montré que, plus les participants avaient passé de temps à s'entraîner, plus ils avaient amélioré leur empan endroit. Ce résultat traduit une amélioration de la mémoire à court terme.

L'entraînement cognitif n'a pas été plus efficace que l'activité contrôle pour améliorer les performances cognitives des participants, et ce, pour la totalité des variables dépendantes considérées. Une amélioration au temps de réponse à la condition dénomination du test de Stroop a même été observée dans le groupe AC, par rapport au groupe expérimental. Ce résultat peut être lié au fait que les participants du groupe contrôle étaient significativement plus lents pour réaliser cette condition que les participants du groupe expérimental lors de l'évaluation cognitive de base. Ainsi, il semble que l'activité de lecture leur ait permis d'améliorer leur vitesse de dénomination des couleurs, sans pour autant améliorer leur capacité de résistance à l'interférence puisque les analyses ne montrent pas d'amélioration des performances lors de la réalisation de la condition interférence du Stroop.

L'activité de lecture proposée aux participants du groupe contrôle a également amélioré les capacités d'attention sélective des participants. Ce résultat rejoint celui de Peretz et collaborateurs (2011) qui avaient montré que leur activité contrôle (des jeux sur

ordinateur) était aussi efficace qu'un programme d'entraînement cognitif informatisé ciblant plusieurs fonctions cognitives (le programme durant environ 15 heures réparties sur trois mois) pour améliorer les capacités d'attention sélective des participants. L'activité contrôle de cette étude de 2011 consistait à réaliser des jeux dits « classiques » sur ordinateur, qui n'avaient pas pour but d'entraîner les capacités cognitives. Il s'agissait de jeux de géométrie, d'arithmétique, de sport, de puzzles, ayant, pour la plupart un ou deux niveaux de difficulté. Dans notre étude, l'activité contrôle choisie était une activité de lecture réalisée sur l'ordinateur afin que les participants du groupe contrôle utilisent le même matériel que les participants du groupe expérimental (i.e. une plateforme internet). Cette démarche expérimentale est inspirée des travaux de Mahncke et collaborateurs (2006) et Smith et collaborateurs (2009). Bien que cette activité contrôle de lecture soit volontairement moins stimulante cognitivement que celle de Peretz et collaborateurs, elle a eu le même effet sur les capacités d'attention sélective que le fait de jouer sur l'ordinateur à des jeux. Par conséquent, cette activité de lecture semble avoir également stimulé cognitivement les participants de notre étude. Ce résultat peut être expliqué par le fait que l'activité de lecture, qui est associée aux capacités d'attention visuelle (Laasonen et al., 2012), peut être considérée comme une activité de stimulation mentale, associée à une diminution du risque de démence (Scarmeas, Levy, Tang, Manly, & Stern, 2001 ; Verghese et al., 2003 ; Wilson et al., 2010).

En conclusion, bien que ce protocole ait été conçu pour pallier l'absence d'effet des entraînements cognitifs rapportés dans la littérature et interprétés par le fait que les participants s'entraînaient à domicile et n'étaient pas supervisés par les expérimentateurs (voir Lampit et al., 2014 pour revue), l'entraînement cognitif ne semble pas être plus efficace que l'activité de lecture, et ce, malgré l'organisation de formations encadrées, de support technique pour la plateforme et de suivi afin de motiver les participants. Par ailleurs, une activité contrôle de participation à des conférences semble être aussi efficace qu'un entraînement cognitif (Legault et al., 2011). La simple participation à un protocole semble avoir un effet extrêmement bénéfique sur l'activité cognitive des seniors. Cet effet bénéfique pourrait être simplement lié à « l'engagement social », dont les effets sur la cognition sont connus (Gallucci et al., 2009). L'inclusion de deux groupes supplémentaires, l'un qui ne ferait aucune formation encadrée, mais qui réaliserait l'activité de lecture et l'autre qui ne ferait aucune activité, permettrait de contrôler l'effet de l'activité de lecture et l'effet des formations encadrées.

IV. Focus 2 : Entraînement cognitif informatisé et calibration des capacités cognitives

IV.1 Introduction

D'après le modèle multifactoriel de la conduite sécuritaire d'Anstey et collaborateurs (2005), le comportement du conducteur au volant résulte, d'une part, de son aptitude à conduire en toute sécurité, qui est directement liée à ses capacités cognitives, visuelles et physiques et, d'autre part, de la manière dont il perçoit ses capacités de conduite. Horrey et collaborateurs (2015) ont défini la notion de calibration comme l'écart entre la perception par l'individu de ses propres capacités lors de la réalisation d'une tâche et ses capacités réelles. Les auteurs ont proposé un modèle de la calibration dans le contexte de la conduite automobile. Ce modèle repose sur le fait qu'une calibration correcte des capacités, correspondant à un « alignement » entre les capacités perçues par l'individu (évaluation subjective) et ses capacités réelles (évaluation objective), entraînerait une autorégulation adaptée de la conduite. Cette autorégulation de la conduite a été définie par Donorfio et collaborateurs (2009) comme l'adaptation comportementale du conducteur sur la route se traduisant par la mise en place de stratégies d'adaptation afin d'éviter certaines situations de conduite difficiles (par exemple, dans le cadre du vieillissement : conduire la nuit, par mauvais temps, aux heures de grandes affluences, etc.; Baldock et al., 2006 ; Ball et al., 1998 ; Blanchard & Myers, 2010 ; Charlton et al., 2006 ; Donorfio, Mohyde, et al., 2008).

Plusieurs études ont mis en évidence que les conducteurs seniors avaient tendance à surestimer leurs capacités de conduite et à sous-estimer les risques encourus sur la route (Freund et al., 2005 ; Marottoli & Richardson, 1998 ; Sundström, 2008). La surestimation de ses propres capacités par l'individu traduit un biais de calibration, c'est-à-dire, un défaut d'alignement entre ses capacités perçues et ses capacités réelles (Horrey et al., 2015). De plus, les personnes les moins performantes dans une tâche sont également celles qui surestiment le plus leurs capacités à réaliser cette tâche et, inversement, les personnes les plus performantes ont tendance à se sous-estimer (voir Ehrlinger et al., 2008 pour revue ; Kruger & Dunning, 1999). Ce biais de calibration peut avoir de graves répercussions en termes de sécurité routière et être à l'origine d'une autorégulation non adaptée aux capacités du conducteur. En effet, le fait d'avoir une conscience erronée de ses capacités peut mener le conducteur à prendre de mauvaises décisions et à ne pas éviter des situations de conduite difficiles (Baldock et al., 2006, 2008 ; MacDonald et al., 2008 ; Wong et al., 2012). En outre, la prise de conscience de ses capacités est l'un des éléments majeurs à l'origine de l'engagement du conducteur dans le processus visant à modifier son

comportement au volant et à autoréguler sa conduite automobile (Hassan, King, & Watt, 2015 ; Kowalski, Jeznach, & Tuokko, 2014). Afin de permettre aux conducteurs de prendre conscience de leurs capacités sensorielles ou cognitives en lien avec la conduite automobile, différentes méthodes ont été testées. D'une part, des questionnaires d'auto-évaluation des capacités sensorielles (visuelles, auditives) ou cognitives ont permis de faire prendre conscience aux conducteurs seniors de l'affaiblissement de leurs capacités et d'initier un changement dans leurs habitudes de conduite, avec la mise en place de stratégies d'autorégulation (Eby et al., 2003 ; Holland & Rabbitt, 1992 ; Levasseur et al., 2015 ; Molnar et al., 2010). D'autre part, des feedbacks donnés aux conducteurs sur leurs performances lors d'entraînement sur simulateur de conduite ont amélioré l'apprentissage des procédures (par exemple, la vérification des angles morts lors de changements de voie, ou le balayage visuel en intersection) et un meilleur transfert des apprentissages en conduite réelle (Lavallière et al., 2012 ; Romoser & Fisher, 2009).

Dans ce second focus, l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif informatisé, associé à des feedbacks sur les performances, a été évaluée sur la correction du biais de calibration de la cognition de sur-estimateurs (SE) et de sous-estimateurs (SsE) de leurs capacités cognitives. L'hypothèse formulée était que, par rapport au groupe contrôle (AC), les SE et de SsE des groupes expérimentaux (EC et EC + S) auraient significativement corrigé leur biais de calibration après l'entraînement et seraient devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives. Aucune hypothèse relative à l'influence de l'immersion sur le simulateur de conduite sur la correction du biais de calibration n'a été émise. En revanche, en l'absence de connaissance sur la relation entre le biais d'auto-estimation et la perception des feedbacks, l'hypothèse était qu'autant de SE que de SsE auraient corrigé leur biais de calibration. Grâce aux feedbacks reçus pendant l'entraînement cognitif, indiquant un pourcentage de réussite et un temps de réponse moyen, les SE prendraient conscience de leurs capacités et de leurs difficultés lors de la réalisation de certains exercices et les SsE regagneraient confiance en leurs capacités.

IV.2 Méthodologie

IV.2.1 Participants

Les caractéristiques démographiques des participants sont décrites dans le Focus 1 : Entraînement cognitif informatisé et performances cognitives, dans le Tableau 9, de la partie III.3.1, page 108.

IV.2.2 Détermination du statut de calibration

IV.2.2.1 *Evaluation objective des capacités cognitives*

Les tests du TMT et des codes de Wechsler ont été précédemment présentés dans la partie III.2.2, page102.

IV.2.2.2 *Evaluation subjective des capacités cognitives*

Les participants ont complété un questionnaire d'auto-évaluation de leurs capacités cognitives comprenant quatre questions sous forme d'échelles ordinales en cinq points (voir Annexe 3, page 255). Les participants devaient se situer par rapport aux personnes de leur âge quant à leurs capacités cognitives (vitesse de traitement, attention soutenue, planification, attention sélective / inhibition).

IV.2.2.3 *Croisement des données*

Le croisement des données et l'obtention des trois profils de conducteurs est expliqué partie II.1 Méthodologie générale page 87.

IV.2.3 Analyse des données

Les proportions de conducteurs ayant corrigé leur biais de calibration en devenant des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives ont été comparées entre le groupe expérimental (EC et EC + S) et le groupe contrôle (AC), grâce à un test du Khi². La variable dépendante considérée était le nombre de participants appartenant aux trois différents groupes d'estimation cognitive à trois modalités : « surestimation », « sous-estimation » et « estimation correcte ». Afin de déterminer si les feedbacks pouvaient avoir eu des influences différentes chez les SE et les SsE, les proportions de SE et de SsE devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives à la suite des interventions ont été comparées grâce à un test du Khi². La variable dépendante considérée était le nombre de participants devenus des estimateurs corrects, en prenant en compte leur statut de calibration initiale (SE ou SsE). Les analyses ont été réalisées avec le logiciel Statistica. Le seuil de signification α était 0,05.

IV.3 Résultats

Parmi les 88 participants présentant un biais de calibration de leurs capacités cognitives, 41 sont devenus des estimateurs corrects après les interventions (entraînement cognitif ou activité contrôle) : 21 participants du groupe EC (soit 50 %de l'effectif total du

groupe), 12 du groupe EC + S (soit 43 % de l'effectif total du groupe) et 8 du groupe AC (soit 44 % de l'effectif total du groupe, voir Tableau 13).

Tableau 13. Evolution du statut de calibration des participants de chaque groupe à la suite des interventions

	Après l'intervention / Avant l'intervention		SE	C	SsE
Groupe EC	SE	23	14	7	2
	SsE	19	2	14	3
	Total	42	16	21	5
Groupe EC + S	SE	14	7	4	3
	SsE	14	1	8	5
	Total	28	8	12	8
Groupe expérimental	*TOTAL*	*70*	*24*	*33*	*13*
Groupe AC	SE	13	5	5	3
	SsE	5	0	3	2
	Total	18	5	8	5

Les valeurs représentent le nombre d'individus. EC = Entraînement Cognitif. EC + S = Entraînement Cognitif + Simulateur. AC = Activité Contrôle. SE = Sur-Estimateurs. SsE = Sous-Estimateurs. C = estimateurs corrects.

Du fait qu'aucune hypothèse concernant l'effet de l'immersion sur simulateur de conduite sur la correction du biais de calibration de la cognition n'ait été formulée, le regroupement des participants des deux groupes expérimentaux ayant réalisé l'entraînement cognitif a été réalisé car ils ne se différenciaient pas en termes d'âge ($U = 498$; $p = 0,28$), de sexe ($khi^2 = 1,04$, $ddl = 1$, $p = 0,31$), ni de proportions de SsE et SE ($khi^2 = 0,15$, $ddl = 1$, $p = 0,69$) avant les interventions.

IV.3.1 Description des changements de statut de calibration par groupe à la suite des interventions

Parmi les 70 participants du groupe expérimental (réunissant les 42 participants du groupe EC et les 28 du groupe EC + S) présentant un biais de calibration à T0, 33 sont devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives après l'intervention (soit 47 %), 29 n'ont pas changé leur calibration (soit 41 %) et 8 ont changé leur calibration, tout

en restant incorrect, c'est-à-dire que des SE sont devenus SsE et des SsE sont devenus SE (soit 11 %). Dans le groupe AC, parmi les 18 participants présentant un biais de calibration à T0, 8 sont devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives après l'intervention (soit 44 %), 7 n'ont pas changé leur calibration (soit 39 %) et 3 sont passés d'un statut de SE à SsE ou vice et versa (soit 17 %).

IV.3.2 Différence de proportions d'estimateurs corrects entre les groupes à la suite des interventions

Afin de déterminer si l'entraînement cognitif (associé ou non à l'immersion de conduite sur simulateur) était plus efficace pour corriger le biais de calibration des capacités cognitives que l'activité de lecture réalisée par le groupe contrôle, la comparaison des proportions de conducteurs devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives à la suite des interventions a été réalisée. Les analyses ont révélé qu'il n'y avait pas plus d'estimateurs corrects dans le groupe expérimental (EC et EC + S) que dans le groupe contrôle (AC), après les interventions ($khi^2 = 0,80$, ddl = 2, $p = 0,67$). L'entraînement cognitif ne semble donc pas plus efficace que l'activité contrôle de lecture pour corriger le biais de calibration des capacités cognitives des conducteurs seniors.

IV.3.3 Description du statut de calibration des conducteurs après les interventions

Parmi les 88 participants inclus dans l'étude, 41 sont devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives (parmi eux, 16 étaient initialement SE et 25 étaient SsE) alors que 47 présentaient toujours ce biais de calibration après les interventions (Tableau 14). Vingt-cinq SsE sur 38 (soit 66 %) ont corrigé leur biais de calibration contre 16 SE sur 50 (soit 32 %). Significativement plus de participants initialement SsE à être devenus des estimateurs corrects que de participants initialement SE ($khi^2 = 9.91$, ddl = 1, $p < 0.01$).

Tableau 14. Statut de calibration final en fonction du statut de calibration initial, indépendamment du groupe d'appartenance

Après les interventions / Avant les interventions		Estimateurs corrects	Estimateurs incorrects sans changement de statut[a]	Estimateurs incorrects avec changement de statut[b]
SE	50	16	26	8
SsE	38	25	10	3
Total	88	41	36	11

Les valeurs représentent le nombre d'individus. SE = Sur-Estimateurs. SsE = Sous-Estimateur. [a] Individus n'ayant pas changé de statut : SE restés SE ou SsE restés SsE. [b] Individus ayant changé leur statut mais présentant toujours un biais de calibration : SE devenus SsE ou SsE devenus SE.

Parmi les **vingt-cinq** participants initialement SsE ayant corrigé leur biais de calibration à la suite des interventions,

- **dix** ont diminué leurs performances aux tests cognitifs du TMT et des codes. D'un niveau cognitif « haut », ils sont passés à un niveau cognitif « moyen » ; tout en continuant à estimer leurs capacités comme étant « comme celles des autres »,

- **quinze** ont amélioré leur auto-évaluation de leurs capacités cognitives (de « comme celles des autres » ils les ont évaluées comme étant « mieux que celles des autres », voir Figure 18).

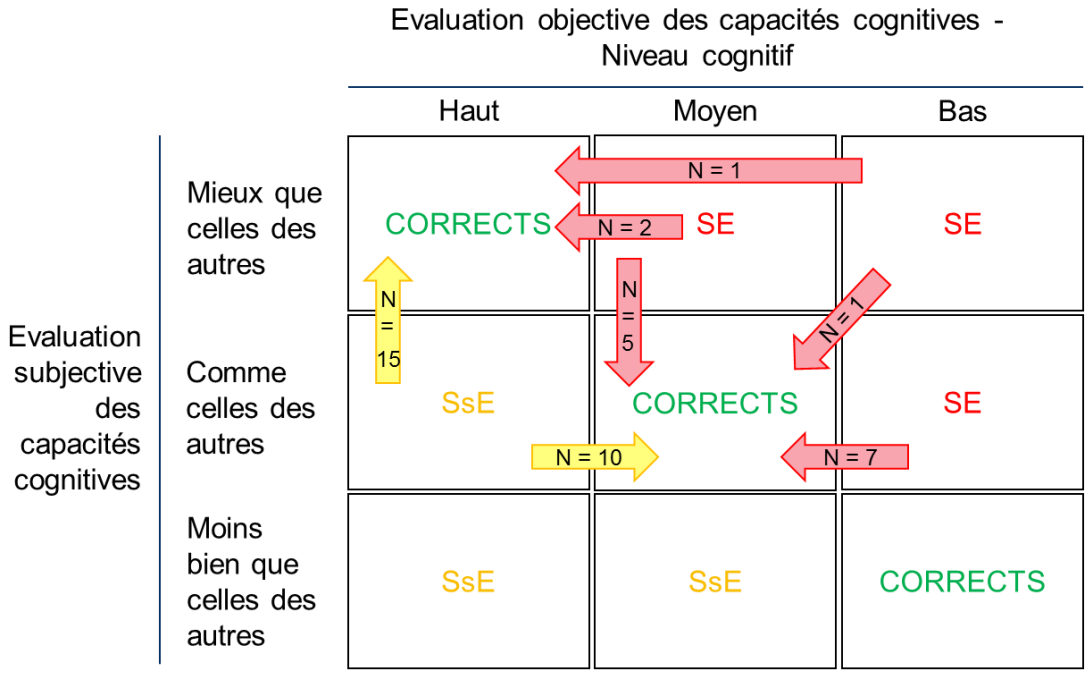
De plus, parmi les **seize** participants initialement SE ayant corrigé leur biais de calibration à la suite des interventions,

- -**dix** ont amélioré leurs performances aux tests cognitifs (sept participants sont passés d'un niveau cognitif « bas » à un niveau cognitif « moyen », un participant est passé d'un niveau cognitif « bas » à un niveau cognitif « haut », et deux participants sont passés d'un niveau cognitif « moyen » à un niveau cognitif « haut »),

- **cinq** ont amélioré l'auto-évaluation de leurs capacités cognitives (de « mieux que celles des autres » à « comme celles des autres ») et

- **un** a amélioré à la fois ses performances aux tests cognitifs (d'un niveau «bas » à « moyen ») et l'auto-évaluation de ses capacités (de « mieux que celles des autres » à « comme celles des autres », voir Figure 18).

Figure 18. Représentation des changements des 41 participants devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives à la suite des interventions



Les flèches rouges représentent les changements des 16 sur-estimateurs (SE) devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives après l'intervention. Les flèches jaunes représentent les changements des 25 sous-estimateurs (SsE) devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives après l'intervention. « N » correspond au nombre de participants concernés par le type de changement.

En outre, les résultats présentés dans le Tableau 14 indiquent que 11 conducteurs ont changé de statut de calibration, tout en restant des estimateurs incorrects de leurs capacités cognitives, parmi lesquels huit SE sont devenus SsE et trois SsE sont devenus SE.

Parmi les **huit** participants initialement SE devenus SsE, tous ont amélioré leurs capacités cognitives de manière objective sans améliorer leur prise de conscience :

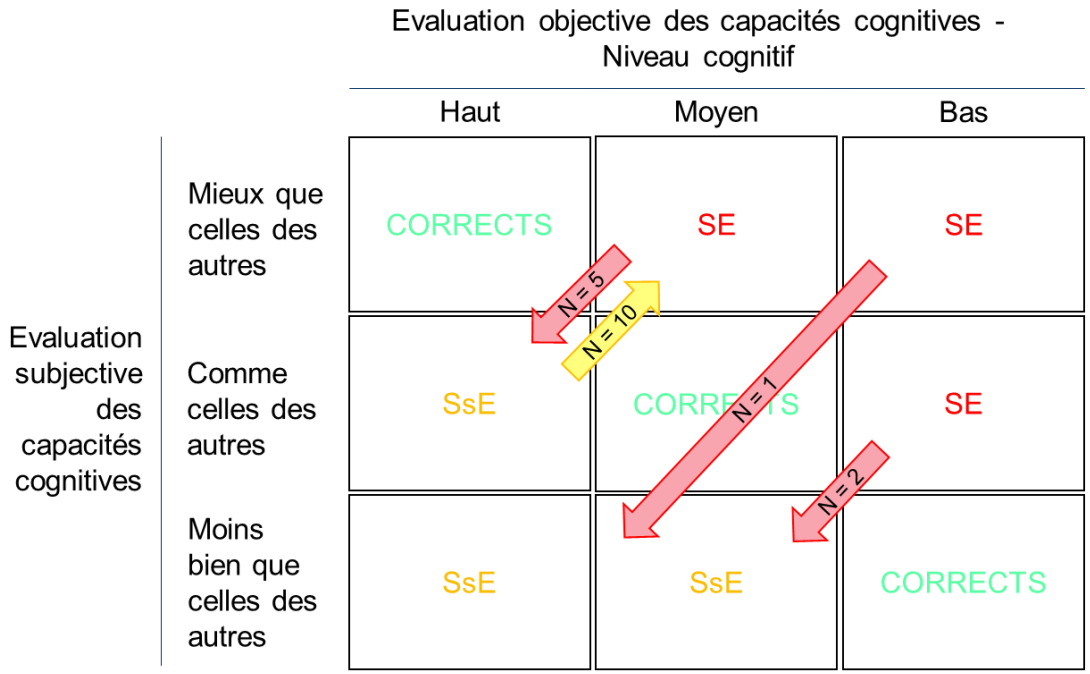
- **cinq** sont passés d'un niveau cognitif « moyen » à un niveau cognitif « haut », et d'une auto-évaluation de leurs capacités cognitives de « mieux que celles des autres » à « comme celles des autres »,

- **un** est passé d'un niveau cognitif « bas » à un niveau cognitif moyen » et d'une auto-évaluation de ses capacités cognitives de « mieux que celles des autres » à « moins bien que celles des autres » et

- **deux** sont passés d'un niveau cognitif « bas » à un niveau cognitif moyen » et d'une auto-évaluation de ses capacités cognitives de « comme celles des autres » à «moins bien que celles des autres » (voir Figure 19).

De plus, les **trois** participants initialement SsE devenus SE sont passés d'un niveau cognitif « haut » à un niveau cognitif « moyen » et d'une auto-évaluation de leurs capacités cognitives de « comme celles des autres » à « mieux que celles des autres » (voir Figure 19).

Figure 19. Représentation des changements des 11 participants ayant changé de statut tout en restant des estimateurs incorrects de leurs capacités cognitives



Les flèches rouges représentent les changements des 8 sur-estimateurs (SE) devenus des sous-estimateurs (SsE) de leurs capacités cognitives après l'intervention. La flèche jaune représente le changement des 3 SsE devenus des SE de leurs capacités cognitives après l'intervention. « N » correspond au nombre de participants concernés par le type de changement.

Enfin, parmi les 88 participants, 36 n'ont pas changé de statut de calibration à la suite des interventions. Parmi eux, 26 individus sont restés SE et 10 individus sont restés SsE. Néanmoins, les capacités cognitives de certains participants ont quand même été modifiées à la suite des interventions (voir Figure 20).

Ainsi, il faut noter que parmi les 26 SE restés SE, la moitié a modifié i) soit ses **performances cognitives** aux tests (n = 5) : avec quatre personnes les ayant améliorées et une les ayant dégradées ; ii) soit **l'autoévaluation de ses capacités** (n = 5) : avec quatre personnes estimant leurs capacités mieux que celles des autres et une les estimant comme celles des autres, alors que dans les deux cas, ces participants ont un niveau cognitif « bas » ; iii) soit **les deux** (n = 3) : amélioration des performances cognitives, mais dégradation de l'auto-évaluation de ses capacités).

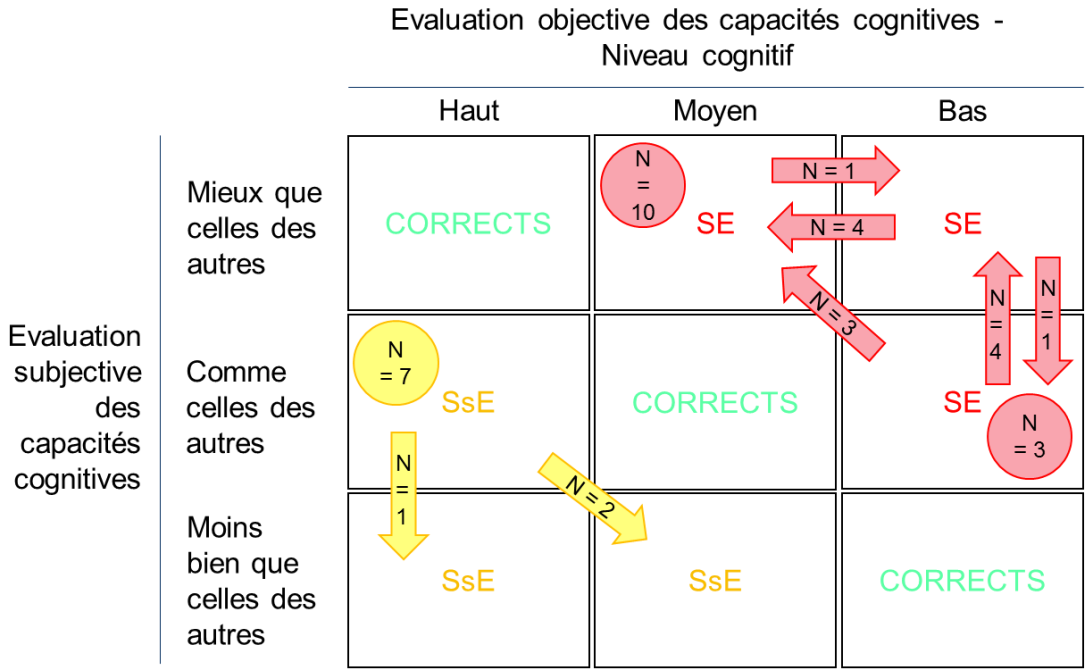
En ce qui concerne les SsE, parmi les **dix** participants n'ayant pas changé de statut :

- **sept** n'ont ni changé leurs performances aux tests ni la manière de percevoir leur capacités,

- **un** a dégradé son auto-évaluation en estimant ses capacités comme étant moins bien que celles des autres alors qu'il a un niveau cognitif « haut » et

- **deux** ont à la fois diminué leurs performances cognitives aux tests, passant d'un niveau cognitif « haut » à « moyen », tout en dégradant leur auto-évaluation et en estimant leurs capacités cognitives comme étant moins bonnes que celles des autres.

Figure 20. Représentation des 36 participants n'ayant pas changé leur statut de calibration et étant restés des estimateurs incorrects de leurs capacités cognitives à la suite des interventions



Les flèches et les points rouges représentent les 25 sur-estimateurs (SE) restés SE de leurs capacités cognitives après l'intervention. Les flèches et le point jaunes représentent les 10 sous-estimateurs (SsE) restés SsE leurs capacités cognitives après l'intervention. « N » correspond au nombre de participants concernés par le type de changement.

IV.4 Discussion

L'objectif traité dans ce second focus était de déterminer si le programme d'entraînement cognitif informatisé proposé aux seniors, fournissant des feedbacks sur les performances, était efficace pour corriger leur biais de calibration cognitive et ainsi les amener à estimer correctement leurs capacités cognitives. Les résultats indiquent que l'entraînement cognitif a amené une part importante des participants (33 sur 70) à corriger

leur calibration en devenant des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives. En revanche, le résultat surprenant est que l'intervention proposée dans le groupe contrôle a induit un effet similaire (8 sur 18). Le pourcentage de participants devenus des estimateurs corrects à la suite des interventions est notable puisqu'il s'agit de près d'un participant sur deux (47 % pour le groupe expérimental et 44 % pour le groupe contrôle). Le programme d'entraînement cognitif, associé à des feedbacks sur la performance, semble donc être aussi efficace que l'activité contrôle pour corriger le biais de calibration cognitive des participants.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer l'effet de l'activité de lecture réalisée par le groupe contrôle sur la réduction du biais de calibration cognitive. Tout d'abord, la réalisation des tests cognitifs et le remplissage des questionnaires d'auto-évaluation ont probablement permis aux participants de prendre conscience de leurs capacités. En effet, plusieurs études soutiennent cette hypothèse puisqu'elles ont montré que les questionnaires ou les livrets d'auto-évaluation des capacités cognitives ou sensorielles liées à la conduite, avaient amené i) 75 à 85 % des participants à avoir davantage conscience des changements liés à l'âge pouvant impacter leurs capacités de conduite et ii) 14 à 50 % des participants à prendre conscience de difficultés qu'ils ne soupçonnaient pas auparavant (Eby et al., 2003 ; Levasseur et al., 2015 ; Molnar et al., 2010 ; Porter & Tuokko, 2011).

Ensuite, l'implication dans l'étude et la venue au laboratoire pour la participation aux trois formations encadrées a également pu jouer un rôle dans cette prise de conscience des capacités cognitives et dans la correction du biais de calibration. Ces formations encadrées avaient pour but de donner aux participants des informations relatives au vieillissement cognitif et à ses conséquences sur les capacités cognitives liées à la conduite. Ainsi, le fait d'avoir informé les participants des changements structuraux et fonctionnels a pu les motiver et les impliquer davantage dans la réalisation de tâches quotidiennes, qu'elles soient liées à l'expérimentation (l'entraînement cognitif pour le groupe expérimental ou l'activité de lecture pour le groupe contrôle), ou induites par la participation aux formations encadrées, comme faire des mots-croisés ou des jeux de logique par exemple (Ehrlinger et al., 2008). De plus, le contenu de ces formations a pu également permettre aux participants de prendre conscience de leurs propres capacités, comme cela a été montré par ailleurs (Stalvey & Owsley, 2003 ; Strain, 2003). En effet, à la suite des formations théoriques dispensées en salle, traitant des effets du vieillissement sur la conduite, de la sécurité routière, du code de la route (Strain, 2003) ou encore des risques routiers dus à une diminution des capacités visuelles et des stratégies d'autorégulation à mettre en place pour limiter la prise de risque (Stalvey & Owsley, 2003),

les conducteurs seniors ont déclaré avoir pris conscience de problèmes de vue et de certaines difficultés rencontrées en conduite. Afin de pouvoir vérifier ces deux hypothèses, il faudrait, dans une prochaine étude, recruter un groupe contrôle passif, ne réalisant que les tests cognitifs et le remplissage des questionnaires, sans participer aux formations encadrées, et un groupe contrôle venant au laboratoire pour réaliser les tests cognitifs, remplir les questionnaires et assister aux formations encadrées, sans qu'il ne réalise d'activité de stimulation cognitive supplémentaire à la maison. Par conséquent, l'ajout de ces deux groupes au groupe expérimental et au groupe AC permettrait de vérifier les effets de l'entraînement cognitif, de l'activité de lecture, et des formations encadrées.

Les résultats indiquent également que les interventions étaient deux fois plus efficaces pour les SsE que pour les SE. En effet, lors de l'évaluation finale, 25 participants sur 38 initialement SsE avaient corrigé leur biais de calibration (soit 66 %), contre 16 participants sur 50 initialement SE (soit 32 %). Les SE sont des individus ayant, par construction (cf Tableau 6), un niveau cognitif inférieur à celui des SsE. Les SE sont par définition, moins performants que la moyenne, ils ont donc tendance à faire plus d'erreurs que les autres et à avoir une confiance excessive en leurs capacités (Kruger & Dunning, 1999). Plusieurs hypothèses peuvent être formulées pour interpréter cette plus grande résistance au changement des SE comparativement aux SsE. Tout d'abord, le défaut de prise de conscience des SE pourrait venir d'un défaut des capacités métacognitives (Kruger & Dunning, 1999). Cette hypothèse pourrait être vérifiée dans une prochaine étude grâce à une évaluation rétrospective de la performance par les participants. Lors de cette évaluation, le participant exprime son degré de certitude ou de confiance vis-à-vis de la qualité de la réponse fournie ou du résultat d'un exercice, par le biais d'une échelle (Mariné & Huet, 1998). Cette résistance au changement de la part des SE peut également être expliquée par une plus grande résistance aux feedbacks négatifs reçus. En effet, Hacker et collaborateurs en 2000 ont montré que des étudiants n'ayant pas de bonnes performances aux examens continuaient à surestimer leurs performances pendant tout un semestre, et ce, malgré les feedbacks négatifs reçus, c'est-à-dire, leurs notes. Ces étudiants ne sont pas parvenus à reconnaître qu'ils ne connaissaient pas suffisamment leurs cours pour pouvoir réussir leur examen. En outre, les SE sont moins enclins à revoir le jugement de leurs capacités après avoir reçus des feedbacks que les SsE, c'est-à-dire qu'ils continuent à estimer leurs performances comme étant meilleures que ce qu'elles ne sont en réalité (Ehrlinger & Dunning, 2003), et ils ont également tendance à être plus optimistes que la moyenne des individus (Dunning et al., 2004). Dans notre étude, les SE ont eu de moins bonnes performances lors de l'entraînement cognitif que les SsE. En effet, les SE sont parvenus au niveau difficulté 8 sur 15, en moyenne, contre 10 sur 15 pour les

SsE ($p < 0,001$) alors qu'ils se sont entraînés le même nombre d'heures (26,6 heures ± 12 pour les SE, et 31,6 heures ± 9 pour les SsE ; $p = 0,13$). Ces données complémentaires indiquent que les SE du groupe expérimental ont bien été confrontés à davantage de feedbacks négatifs, provenant de leurs plus nombreux échecs lors des exercices. Ces feedbacks négatifs reçus ont donc pu avoir moins d'impact sur les SE que sur les SsE. Apprendre de ces erreurs, c'est-à-dire recevoir une explication sur les erreurs commises et des indications sur comment parvenir à la bonne réponse permet la rétention de la stratégie à adopter (Knowles, Holton, & Swanson, 2005). Ainsi, proposer des feedbacks complets et personnalisés aux SE leur feraient peut-être plus facilement prendre conscience de leurs limites.

En somme, l'entraînement cognitif informatisé accompagné de feedbacks sur les performances semble être aussi efficace que l'activité contrôle de lecture pour corriger le biais de la calibration des capacités cognitives des conducteurs seniors. Néanmoins, le groupe contrôle étant relativement petit (18 participants contre 70 dans le groupe expérimental), ce résultat a besoin d'être confirmé auprès d'un plus grand échantillon de seniors. De plus, parmi les participants devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives, les SsE apparaissent être les plus enclins à corriger leur biais de calibration.

De futurs travaux devraient viser à i) augmenter l'effectif du groupe contrôle réalisant l'activité de lecture, ii) ajouter un groupe contrôle n'assistant qu'aux formations encadrées, afin de déterminer précisément leur rôle dans la correction du biais de calibration et iii) ajouter également un groupe contrôle passif, qui ne viendrait que pour l'inclusion dans l'étude et l'évaluation finale. De plus, d'autres méthodes devraient être proposées aux SE pour les aider à prendre conscience de leurs limites. Par exemple, dans le cadre d'un entraînement cognitif, des feedbacks plus personnalisés pourraient être fournis aux participants, sous la forme de « rejeu » de l'exercice, avec des explications sur les erreurs commises et les stratégies à utiliser pour résoudre les difficultés.

V. Focus 3 : Entraînement cognitif informatisé et performances de conduite

V.1 Introduction

La conduite automobile est une activité complexe faisant appel aux capacités visuelles, cognitives, visuo-spatiales ou psychomotrices. Le déclin de ces capacités avec l'âge peut rendre difficiles certaines situations de conduite, comme la conduite de nuit ou pendant les heures de pointes, et entraîner une plus grande prise de risque de la part du conducteur sur la route (Anstey et al., 2005). Par exemples, i) un **déclin des capacités visuelles**, tel qu'une diminution de l'acuité visuelle, de la sensibilité au contraste ou encore de la perception visuelle, peut entraîner des difficultés pour lire les panneaux routiers, pour apprécier la vitesse des autres véhicules ou les distances aux autres usagers de la route, ou encore pour détecter des dangers potentiels en mouvement ou non, apparaissant dans le champ visuel périphérique ; ii) un **déclin des capacités attentionnelles**, de l'attention divisée ou de l'attention sélective, peut entraîner des difficultés pour traiter des informations simultanées provenant de sources différentes, ou pour sélectionner les informations pertinentes pour la réalisation de la tâche et inhiber celles qui ne le sont pas ; iii) un **déclin de la mémoire de travail ou des fonctions exécutives** peut entraîner des difficultés de planification, d'anticipation et de prise de décision dans des situations de conduite complexes ; iv) un **déclin des capacités visuo-spatiales**, telles que l'imagerie mentale, ou la rotation mentale, peut provoquer des difficultés d'orientation et de représentation mentale du quartier ; et enfin, v) un **déclin des capacités psychomotrices** peut être associé à un ralentissement de la coordination des mouvements et à une augmentation de la vitesse de traitement, pouvant avoir des répercussions sur la fluidité des mouvements lors du maniement des commandes et sur le temps de réaction face à un évènement imprévu (voir Anstey et al., 2005 et Simoes, 2003 pour des revues détaillées ; Friedman, McGwin, Ball, & Owsley, 2013 ; Sandlin, McGwin, & Owsley, 2014).

Parmi les situations de conduite les plus à risque d'accidents pour les seniors se trouvent les intersections (Preusser, Williams, Ferguson, Ulmer, & Weinstein, 1998) et, plus spécifiquement, la situation de tourne-à-gauche (Lallemand et al., 2013). Les accidents dans cette situation sont liés à des difficultés de jugements des vitesses des véhicules arrivant en sens inverse et des distances entre ces véhicules (Scialfa, Guzy, Leibowitz, Garvey, & Tyrrell, 1991) et à une diminution des capacités de mémoire de travail (Andersen & Enriquez, 2006). Bien que les seniors soient des conducteurs expérimentés, leurs capacités à détecter les dangers diminuent avec l'âge (Borowsky, Shinar, & Oron-Gilad,

2010) et ils sont moins performants que les conducteurs plus jeunes lors de la détection de piétons en situation d'intersection (Caird, Edwards, Creaser, & Horrey, 2005). De plus, les informations critiques transmises par les feux ne sont parfois pas détectées suffisamment vite par les conducteurs seniors, augmentant ainsi leur risque de franchir le feu lorsqu'il est rouge, par rapport aux conducteurs plus jeunes (Dewar, Kline, Scheiber, & Swanson, 1997). Les travaux de Caird et collaborateurs (2008) ont montré que les conducteurs seniors franchissent deux fois plus les feux orange que les conducteurs plus jeunes. Cependant, lorsque les conducteurs seniors s'aperçoivent du passage d'un feu à l'orange dans une intersection, ils ont tendance à s'arrêter avant que le feu ne passe au rouge ; en revanche, lorsqu'ils franchissent involontairement le feu, ils ne libèrent pas l'intersection assez rapidement (Caird, Chisholm, Edwards, & Creaser, 2007). En outre, la conduite sur l'autoroute et, notamment, le changement de voie ainsi que le dépassement sont des situations difficiles pour les seniors et parfois même évitées (Lallemand et al., 2013 ; Staplin, Lococo, Martell, & Stutts, 2012). Enfin, les collisions par l'arrière constituent une part importante des accidents de la route impliquant les conducteurs seniors (Lallemand et al., 2013) reflétant des difficultés d'adaptation à maintenir une distance de sécurité suffisante avec le véhicule qui précède ou un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information (dans le cas où le véhicule de devant a freiné, par exemple).

Depuis une dizaine d'année, différents programmes d'entraînement cognitif ont été testés auprès de conducteurs seniors afin d'améliorer leurs performances cognitives et de conduite. Par exemple, en 2003, Roenker et collaborateurs ont démontré la possibilité d'améliorer les performances d'attention visuelle et de conduite sur route de conducteurs présentant un déficit des capacités d'attention visuelles, grâce à un entraînement ciblé sur la vitesse de traitement de l'information visuelle. Après l'entraînement, les participants réalisaient moins de manœuvres dangereuses et adoptaient un comportement plus sécure lors des changements de voie. Cet entraînement a permis aux conducteurs de retarder l'arrêt de la conduite, c'est-à-dire de conserver leur mobilité à trois et cinq ans, en termes d'étendue et de fréquences des déplacements, et de réduire leur taux d'accidents (Ball, Edwards, Ross, & McGwin, 2010 ; Edwards, Myers, et al., 2009 ; Edwards, Delahunt, & Mahncke, 2009 ; Ross et al., 2015). En 2009, Cassavaugh et Kramer ont également montré les bénéfices d'un programme d'entraînement cognitif centré sur l'attention visuelle, la mémoire de travail en conditions de simple et double tâche sur le temps de réaction au freinage du véhicule qui précède et sur le maintien de la position sur la voie lors de l'évaluation de la conduite sur simulateur. Néanmoins, l'absence de groupe contrôle dans cette étude limite l'interprétation des résultats. Plus récemment, le programme d'entraînement cognitif « Drivesharp », ciblé sur la vitesse de traitement de l'information,

l'attention sélective et la détection d'éléments dans le champ visuel a permis l'amélioration des performances d'attention visuelle des conducteurs seniors sans pour autant améliorer leurs performances de conduite sur simulateur ou sur route (Dobres et al., 2013 ; Gaspar, Neider, Simons, McCarley, & Kramer, 2012 ; Staplin et al., 2012). En résumé, les entraînements cognitifs testés auprès des conducteurs seniors ont permis une amélioration des capacités d'attention visuelle, mais le transfert des bénéfices sur les performances de conduite sur simulateur et sur route est limité.

D'autres études ont visé à évaluer l'efficacité de programmes d'entraînement basés sur simulateur de conduite. Les résultats de ces études indiquent que le simulateur de conduite est un outil efficace pour entraîner des comportements spécifiques au volant, comme par exemple la vérification dans les angles morts lors du changement de voie, le balayage visuel en intersection, ou la détection de dangers potentiels (Horswill et al., 2010 ; Lavalliere et al., 2012 ; Roenker et al., 2003 ; Romoser & Fisher, 2009). De plus, une étude récente de 2014 a démontré qu'un programme d'entraînement basé sur simulateur de conduite améliorait plus la performance de conduite sur route qu'un entraînement basé sur l'utilisation d'exercices cognitifs classiques (Casutt et al., 2014).

L'objectif principal visé dans ce troisième focus était d'évaluer et de comparer l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif ciblé sur les capacités cognitives requises en conduite et associé à une immersion de conduite sur simulateur. Un entraînement cognitif sollicitant plusieurs domaines de la cognition est plus efficace pour améliorer les performances cognitives qu'un entraînement cognitif ciblé sur un seul domaine (voir Gates, Sachdev, Singh, & Valenzuela, 2011 pour revue). De plus, un entraînement utilisant le simulateur de conduite ou les jeux-vidéo, qui nécessite de faire plusieurs tâches en même temps permet un meilleur transfert des bénéfices de cet entraînement sur des tâches cognitivement éloignées, qu'un entraînement en simple tâche (Anguera et al., 2013 ; Basak, Boot, Voss, & Kramer, 2008 ; Casutt et al., 2014). Au regard de ces informations issues de la littérature, les hypothèses émises étaient i) que les participants ayant suivi le programme d'entraînement cognitif seul (EC) auraient de meilleures performances de conduite sur route que les participants du groupe contrôle (AC), et ii) que l'immersion sur le simulateur de conduite aurait favorisé le transfert des bénéfices de l'entraînement cognitif sur les capacités de conduite sur route car selon la théorie de l'apprentissage, les adultes réussissent mieux à apprendre des stratégies lorsqu'ils sont immergés et impliqués dans la tâche dans laquelle ils devront à terme utiliser cette stratégie (Knowles et al., 2005). Ainsi, les participants du groupe EC + S feraient moins d'erreurs d'attention visuelle, d'interaction avec les autres usagers, de planification, et de positionnement sur la voie, à la suite de l'entraînement, que les participants du groupe EC.

L'objectif secondaire de cette partie était d'évaluer l'influence de la calibration de la cognition (surestimation, sous-estimation, ou estimation correcte) des conducteurs seniors sur leurs performances de conduite. L'hypothèse était que les SE prendraient plus de risques au volant se traduisant par davantage de difficultés à adapter de leur comportement aux changements des conditions de trafic et feraient plus d'erreurs de planification que les SsE.

V.2 Méthodologie

V.2.1 Participants

Les participants inclus dans cette étude ont été recrutés au sein de la cohorte SAFE MOVE, parmi les conducteurs SE et SsE de leurs capacités cognitives, comme décrit dans la partie II.1 (Tableau 15).

Tableau 15. Caractéristiques démographiques des participants en fonction de leur statut de calibration

	SE (n = 50) Moy (E-T)	SsE (n = 38) Moy (E-T)	p[a]
Âge (ans)	75,5 (4,2)	74,6 (3,4)	0,42
Sexe			0,81[b]
Hommes	33	26	
Femmes	17	12	
Temps d'entraînement cognitif (h)	33,8 (21,7)	33,7 (13,9)	0,64
Intervalle T1 – T0 (j)	97,1 (26,9)	105,7 (23,9)	0,09

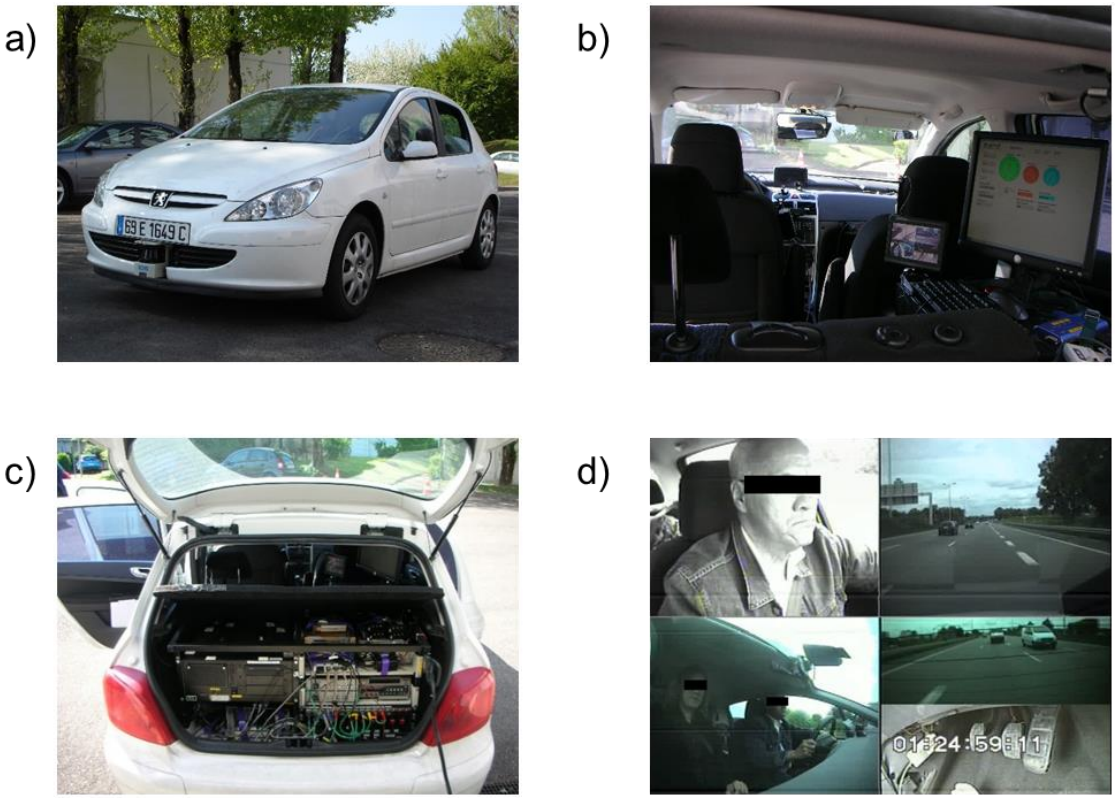
SE = Sur-Estimateur. SsE = Sous-Estimateur. Moy = Moyenne. E-T = Ecart-Type. p = p-valeur. [a] : test non paramétrique de Mann-Whitney. b : test du Khi²

V.2.2 Evaluation des performances de conduite

Pour évaluer la performance de conduite le véhicule expérimental utilisé, VICTOR (Véhicule Instrumenté pour l'étude du ComporTement du cOnducteuR), était une 307 Peugeot instrumentée, équipée d'une boîte de vitesses manuelle et d'un système de double commande (accélérateur, frein, embrayage) et double rétroviseur (Figure 21). Le véhicule était également équipé de caméras vidéo permettant de recueillir les informations concernant le comportement du conducteur en situation de conduite réelle (Figure 21 – d) : i) les vues avant et arrière fournissaient des informations sur l'état du trafic et les

infrastructures, ii) la vue conducteur permettait de contrôler le balayage visuel et les vérifications dans les rétroviseurs ainsi que les éventuelles verbalisations du conducteur et enfin, iii) la vue conducteur et moniteur permettait d'observer le comportement global du conducteur et les actions du moniteur. L'ouverture angulaire couverte par les caméras a permis une analyse fine du comportement du conducteur. Tous les appareils servant à ces enregistrements étaient situés dans le coffre du véhicule, alimentés par une batterie auxiliaire. La conduite sur route se déroulait en présence d'un moniteur d'auto-école, assis à la droite du conducteur, qui donnait les directions à suivre aux participants, assurait la sécurité et pouvait intervenir en cas de nécessité (verbalement ou mécaniquement sur les pédales ou le volant).

Figure 21. Différentes vues de VICTOR, le véhicule expérimental du Lescot



a) Vue avant du véhicule. b) Vue de l'intérieur du véhicule. c) Vue du coffre contenant le matériel d'enregistrement. d) Vues enregistrées par les différentes caméras : en haut à gauche : vue sur le conducteur, en haut à droite : vue de la scène routière avant, en bas à gauche : vue plus large sur le conducteur et le moniteur, vue en bas à droite, moitié supérieure : vue de la scène routière arrière, et moitié inférieure : vue sur les doubles commandes, pédales du moniteur de conduite.

Afin de mesurer les effets de l'entraînement sur les performances et le comportement de conduite et d'éviter un biais des résultats par un effet test-retest, les parcours réalisés avant et après les interventions ont été volontairement différenciés, tout en vérifiant les mêmes caractéristiques. Le **parcours initial** s'est déroulé au travers des

villes de Bron, Chassieux et Villeurbanne (département du Rhône, près de Lyon). Il durait environ 40 minutes pour 28 kilomètres parcourus. Il était composé d'une partie en ville (13 km), une en milieu péri-urbain/campagne (5 km) et une sur périphérique/autoroute (10 km). Lors de ce parcours les participants étaient confrontés à différents types d'infrastructures dont plus de vingt-cinq intersections (dont huit tourne-à-gauche), six ronds-points, quatre insertions/sorties de périphérique, huit changements de voies imposés, deux radars automatiques et un radar pédagogique. Les indications de direction étaient données au conducteur par le moniteur d'auto-école au fur et à mesure de la conduite. La réalisation du parcours de conduite était précédée d'une phase de prise en main du véhicule d'une dizaine de minutes. Le **parcours final** s'est déroulé au travers des villes de Bron et Saint-Priest. Il durait environ 40 minutes pour 25 kilomètres parcourus. Il était composé d'une partie en ville (8 km), une en milieu péri-urbain/campagne (7 km) et une sur périphérique/autoroute (10 km). Lors de ce parcours le participant était confronté à différents types d'infrastructures : plus de vingt intersections (dont treize tourne-à-gauche), douze ronds-points, cinq insertions/sorties de périphérique, quatre changements de voies imposés, et un radar pédagogique.

Deux grilles ont été utilisées, la grille TRIP, complétée à la fin du parcours, pour l'évaluation de la performance de conduite et la grille d'observation du comportement complétée en temps réel, pour le codage détaillé de l'activité de conduite.

<u>Grille d'évaluation de la performance de conduite (TRIP)</u>

La première grille (présentée en Annexe 4, page 256) est une version adaptée en français de la *« Test Ride for Investigating Practical fitness to drive »* (De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000 ; Withaar, Brouwer, & van Zomeren, 2000). Cette grille était complétée par le moniteur d'auto-école, une fois que le parcours était terminé sur la base des comportements mémorisés lors du trajet. Chacune des onze dimensions de la conduite automobile était évaluée comme « insuffisante » (1 point), « douteuse ou médiocre » (2 points), « suffisante » (3 points), « bonne » (4 points) ou « non applicable » (un score élevé correspondait à une performance élevée en conduite) :

- *la position latérale sur la route*, évaluée sur 43 points : cette dimension prenait en compte la position latérale moyenne, la stabilité de la trajectoire et les choix de file ;
- *les distances de sécurité*, évaluée sur 11 points : cette dimension considérait le style de suivi du conducteur, et l'adaptation des distances de sécurité en fonction de la vitesse précédant ;

- *la vitesse*, évaluée sur 11 points : cette dimension traitait les choix de vitesse du conducteur et l'adaptation de la vitesse en fonction des circonstances ;
- *l'exploration visuelle*, évaluée sur 52 points, cette dimension prenait en considération l'exploration visuelle générale, les regards d'anticipation, et la qualité des regards à droite et à gauche ;
- *la signalisation*, évaluée sur 8 points : cette dimension prenait en compte la perception des feux et des panneaux et la réaction du conducteur à ces signaux ;
- *le dépassement*, évaluée sur 8 points : cette dimension considérait la perception de l'environnement et le jugement du conducteur et la réalisation de la manœuvre ;
- *l'anticipation*, évaluée sur 8 points : cette dimension évaluait l'anticipation du conducteur en fonction des changements de situation routière et de trafic ;
- *la communication*, évaluée sur 8 points : cette dimension prenait en considération la communication avec les autres conducteurs et avec les piétons et /ou les cyclistes ;
- *des situations particulières*, évaluée sur 80 points : cette dimension considérait les situations de « tourne-à-gauche », « insertion dans le trafic, sur autoroute ou voie express », et « sortie d'autoroute ou voie express » comme particulières ;
- *les opérations mécaniques*, évaluées sur 12 points : cette dimension prenait en compte l'utilisation de l'accélérateur, du frein et du volant ;
- les impressions générales, évaluées sur 12 points : cette dimension jugeait des capacités de conduite générales du conducteur, du maniement de la voiture, ainsi que de la perception et la compréhension du trafic.

Le **score total** obtenu était sur 253 points, sous réserve de variations en fonction des situations rencontrées (par exemple, le dépassement), et était ensuite rapporté sur 100 points. Trois sous-scores étaient également calculés :

- Le **score tactique**, calculé sur 46 points, prenait en compte : la position latérale sur la route lors du choix de file, les distances de sécurité, la vitesse, et l'anticipation.
- Le **score de compensation tactique**, calculé sur 20 points, prenait en compte le style de suivi de véhicule du conducteur, ses choix de vitesse, et son anticipation.
- Enfin le **score opérationnel**, calculé sur 39 points, prenait en compte la position latérale moyenne du véhicule, la stabilité de la trajectoire et les opérations mécaniques.

Grille d'observation du comportement

La seconde grille (présentée en Annexe 5, page 272 et en Annexe 6, page 279) est une grille d'observation du comportement au volant adaptée des travaux de Dobbs, et collaborateurs (1998) et de Lafont et collaborateurs (2010) qui permet un codage plus précis de l'activité de conduite (les erreurs peuvent par exemple être étudiées par type d'infrastructures). Elle a permis une évaluation de l'activité de conduite en temps réel, par un expérimentateur placé derrière le conducteur. Dans certains cas, lorsque des événements routiers s'enchaînaient rapidement et ne permettaient pas un codage complet e l'activité de conduite, la grille était complétée a posteriori grâce à l'enregistrement vidéo. La grille décrivait toutes les situations rencontrées au cours du parcours ainsi que la liste exhaustive des comportements du conducteur dans chacune des situations. Les différents comportements du conducteur étaient regroupés selon les catégories ci-dessous, en fonction du type d'erreur commise :

- *l'attention visuelle* regroupait l'exploration visuelle, le contrôle effectué dans les rétroviseurs, et la vérification des angles morts ;
- *le respect de la signalisation* considérait le respect des panneaux, des feux, ou du marquage au sol ;
- *l'interaction avec les autres usagers de la route* regroupait l'utilisation du clignotant, la qualité des interactions avec les piétons et/ou les cyclistes, avec les autres véhicules, et lors des insertions ou des changements de voie ;
- *la planification* prenait en compte les demandes et les hésitations du conducteur, le respect du suivi de direction, le choix de file et la prise de décision. Cette catégorie a donné lieu à deux sous-scores, l'un illustrant uniquement les demandes et les hésitations du conducteur, et l'autre illustrant les difficultés de prises de décision et regroupant le suivi de direction, le choix de file, et la prise de décision ;
- *la position du véhicule sur la voie* considérait le positionnement latéral du véhicule, les distances de sécurité et la stabilité de la trajectoire ;
- *l'adaptation de la vitesse* prenait en compte les vitesses trop élevées ou trop basses par rapport à la situation de trafic considérée, les freinages tardifs ou injustifiés, et la vitesse saccadée ;
- *le maniement des commandes* concernait le volant, les pédales, le régime du moteur, et la boite de vitesses ;

- les *interventions du moniteur* regroupaient les actions réalisées par le moniteur sur le volant, les pédales, ou la boîte de vitesses, et les interventions orales à son initiative. Cette catégorie a également donné lieu à deux sous-scores, l'un relatif aux interventions mécaniques (sur les pédales, le volant ou la boite de vitesses) et l'autre relatif aux interventions orales ;
- les *arrêts* sur la voie.

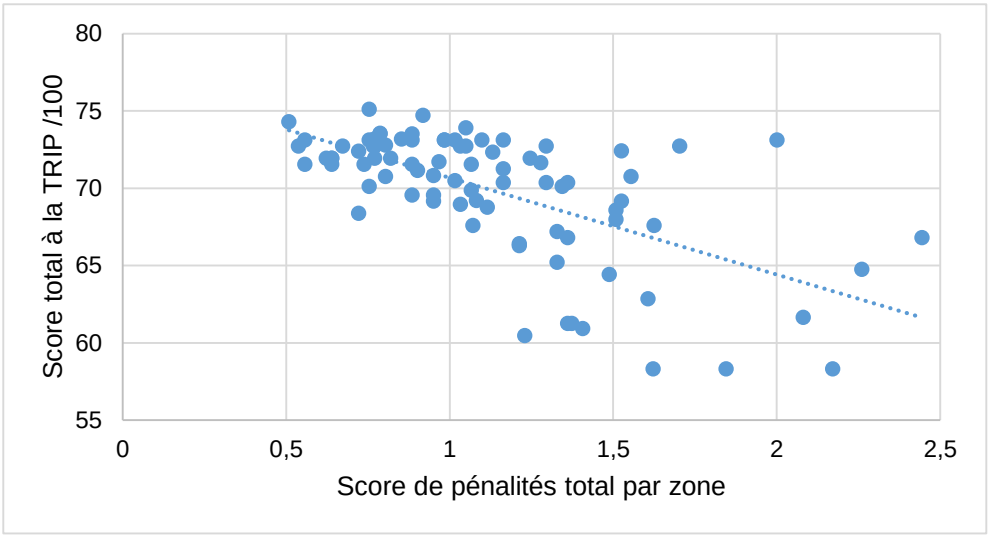
Cette grille permettait de décrire zone par zone les types d'erreurs commises par les participants au volant. Elle était composée de 61 zones d'intérêt lors du parcours initial et 70 zones d'intérêt lors du parcours final. Elle a ainsi permis de calculer un **score de pénalités total**, à partir de chaque erreur observée (une action réalisée à tort ou l'absence d'action requise par la situation) qui comptait pour 1 point de pénalité. **Onze sous-scores de pénalités** associés à chacune des catégories listées précédemment (attention visuelle, respect de la signalisation, interaction avec les autres usagers, hésitations, prise de décision, position sur la voie, adaptation de la vitesse, maniement des commandes, interventions du moniteur mécaniques et orales, et arrêts sur la voie) ont également été calculés. Du fait que les deux parcours utilisés à T0 et à T1 n'étaient pas les mêmes (le premier avait 61 zones d'intérêt et le second 70), les scores de pénalités issus de la grille d'observation du comportement ont été transformés car ils n'étaient pas directement comparables. Ils ont ainsi été ramenés à un score « par zone ».

Lien entre la grille TRIP et la grille d'observation du comportement

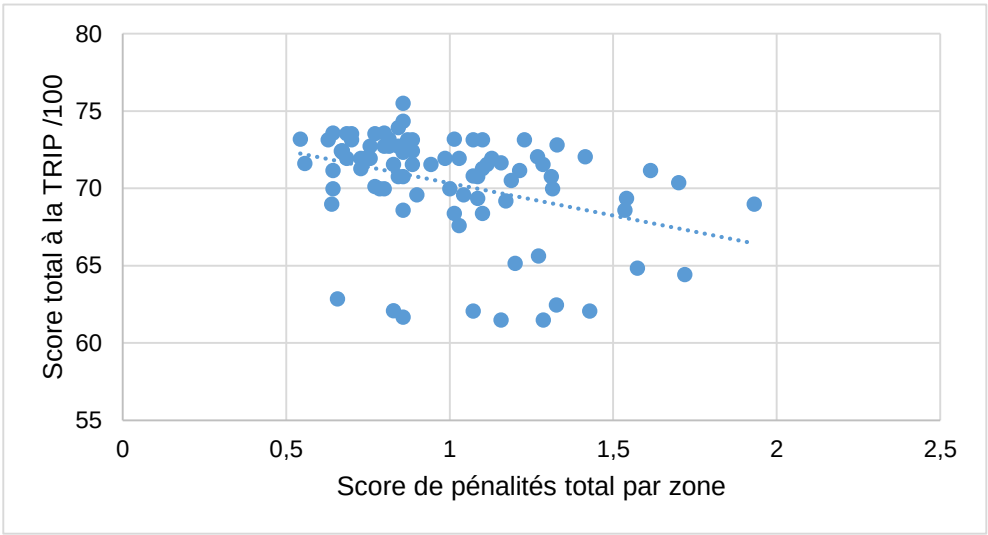
La grille d'observation du comportement ayant été construite spécialement pour coder l'activité de conduite en temps réel des participants, des corrélations de Spearman entre le score de pénalité total et le score total à la TRIP (à T0 et à T1) ont été réalisées afin de vérifier sa validité. Sur les 88 participants, seule une donnée était manquante, pour un participant du groupe AC, le parcours n'ayant pas pu être réalisé entièrement à cause d'une manifestation le jour de l'évaluation. Le score de la performance de conduite évaluée par le moniteur (score total à la TRIP) et le score de pénalités total (issu de la grille d'observation complétée par l'expérimentateur) étaient négativement corrélés, à T0 ($rho = -0,59$; $p < 0,001$, Figure 22 – a) et à T1 ($rho = -0,42$; $p < 0,001$, Figure 22 – b).

Figure 22. Graphiques représentant le score total à la TRIP en fonction score de pénalités total par zone d'intérêt relevé grâce à la grille d'observation à T0 (a) et à T1 (b)

a)



b)



Plus le nombre de pénalités codées par l'expérimentateur augmentait, plus la performance de conduite, codée par le moniteur diminuait. Ces corrélations révèlent une bonne correspondance entre les deux types de codages réalisés, d'une part, par le moniteur d'auto-école et d'autre part, par l'expérimentateur et contribuent à établir la validité de la grille d'observation du comportement.

V.2.3 Analyse des données

La normalité de la distribution des variables dépendantes (le score total à la TRIP et les sous-scores tactique, de compensation tactique, et opérationnel, ainsi que les douze

scores de pénalités issus de la grille d'observation) a été vérifiée grâce au test de Shapiro-Wilk. La comparaison intra-groupe entre les résultats obtenus lors de l'évaluation initiale (T0) et les résultats obtenus lors de l'évaluation finale (T1), a été réalisée pour chacun des groupes (EC, EC + S et AC) de manière indépendante, afin de vérifier si les trois groupes avaient des performances de conduite initiales équivalentes. La comparaison des moyennes de ces échantillons appariés a été réalisée grâce au test non paramétrique de Wilcoxon.

Afin de déterminer si les performances de conduite des participants de chaque groupe ont été modifiées par les interventions, des tests de Wilcoxon ont été réalisés pour comparer les scores entre T0 et T1 pour chaque groupe (EC, EC + S et AC). Un score de changement dû aux interventions a été calculé, pour chacune des variables dépendantes, par la différence entre le score obtenu à T1 et celui à T0.

$$Score\ de\ changement = Score\ obtenu\ \text{à}\ T1 - Score\ obtenu\ \text{à}\ T0$$

Afin d'évaluer l'effet de l'entraînement cognitif sur la performance de conduite, la comparaison des scores de changements calculés pour chaque variable dépendante a été réalisée grâce à un test non paramétrique de Mann-Whitney entre le groupe EC et le groupe contrôle (AC). Puis, afin d'évaluer l'apport du simulateur de conduite sur les performances de conduite, la comparaison des scores de changements a été réalisée entre le groupe EC et le groupe EC + S.

Enfin, les performances de conduite des SE et des SsE à T0, et des SE, des SsE et des estimateurs corrects à T1 ont été comparées grâce à un test de Mann-Whitney et à une ANOVA de Kruskal-Wallis, respectivement, afin de déterminer si le biais de calibration des capacités cognitives (c'est-à-dire, la sur ou la sous-estimation) impactaient de manière différente les performances de conduite Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Statistica et le seuil de signification α était à 0,05.

V.3 Résultats

V.3.1 Comparaison des performances de conduite de base entre les groupes

Afin de vérifier si les participants des deux groupes expérimentaux (EC et EC + S) et du groupe contrôle (AC) avaient des niveaux de performance équivalents lors de l'évaluation initiale (T0), leurs performances de conduite initiales ont été comparées. Concernant les performances de conduite évaluées grâce à la grille TRIP, les participants des trois groupes avaient une performance de conduite globale et des scores de

compensation tactique et opérationnel équivalents (Tableau 16). Une différence significative entre les groupes a été mise en évidence seulement pour le score de compensation tactique (p = 0,02). Les participants du groupe EC + S avaient un score tactique supérieur à celui des deux autres groupes, reflétant une meilleure adaptation comportementale lors de l'évaluation initiale.

Tableau 16. Scores obtenus à la TRIP lors de l'évaluation de conduite initiale

	EC (n = 42) Moy (E-T)	EC + S (n = 28) Moy (E-T)	AC (n = 18) Moy (E-T)	H	p[a]
Score total (/100)	69,6 (4,5)	71,3 (2,3)	69,1 (4,5)	1,94	0,38
Score tactique (/46)	32,5 (2,2)	33,1 (2,1)	32,0 (2,0)	4,47	0,11
Score de compensation tactique (/20)	11,8 (1,1)	12,4 (0,5)	11,9 (1,1)	8,29	0,02*
Score opérationnel (/39)	28,3 (2,7)	29,3 (2,2)	28,4 (3,5)	2,74	0,25

*EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle. Moy : Moyenne. E-T : Ecart-Type. p : p-valeur. [a] = ANOVA de Kruskal-Wallis. * p < 0,05.*

Concernant la grille d'évaluation du comportement au volant, le score de pénalités total ne différait significativement pas entre les trois groupes lors de l'évaluation de conduite initiale (Tableau 17). En ce qui concerne les sous-scores de pénalités de la grille, les résultats sont présentés à titre descriptifs mais ne seront pas davantage commentés, afin de ne pas sur-interpréter les petits nombres d'erreurs par zone. Ainsi, lors de l'évaluation initiale, les participants du groupe AC faisaient plus d'erreurs d'attention visuelle que les participants du groupe EC et plus d'erreurs de maniement des commandes que les participants du groupe EC + S. De plus, les participants du groupe EC faisaient davantage d'erreurs liées au respect de la signalisation et à l'adaptation de la vitesse que les participants du groupe EC + S.

V.3.2 Comparaison des performances de conduite entre T0 et T1 pour chacun des groupes

La comparaison des performances de conduite entre les deux évaluations (T0 et T1) au sein de chaque groupe a été effectuée afin d'évaluer l'effet des différentes interventions proposées (entraînement cognitif associé ou non à l'immersion sur simulateur et activité contrôle). Pour le score total à la TRIP, les interventions n'ont pas eu d'effet significatif pour aucun des trois groupes (Tableau 18 ; Figure 23). Le score tactique à la TRIP était significativement amélioré dans le groupe EC à la suite de l'intervention (p = 0,03) et des tendances proches du seuil de significativité ont été observées pour les deux autres groupes (p = 0,05 pour le groupe EC + S et p = 0,06 pour le groupe AC). Ce résultat

indique qu'après avoir réalisé l'entraînement cognitif informatisé, les participants du groupe EC ont fait de meilleurs choix de file lorsqu'ils devaient changer de direction, ont mieux adapté leur vitesse et leurs distances de sécurité avec les autres véhicules en fonction du trafic et de l'environnement (urbain ou autoroute) et ont mieux anticipé les changements de situations. Les mêmes tendances ont été observées pour les deux autres groupes, avec des effets légèrement moindres. Enfin, ni le score de compensation tactique, ni le score opérationnel n'ont été significativement modifié par les interventions, quelque que soit le groupe considéré.

Tableau 17. Nombre d'erreurs par zone d'intérêt commises lors de l'évaluation de conduite initiale

	EC (n = 42) Moy (E-T)	EC + S (n = 28) Moy (E-T)	AC (n = 17) Moy (E-T)	H	p[a]
Score de pénalité total	1,16 (0,46)	0,97 (0,27)	1,21 (0,41)	4,26	0,12
Sous-scores par catégorie					
Attention visuelle	0,31 (0,06)	0,34 (0,06)	0,35 (0,05)	6,26	0,04*
Respect de la signalisation	0,01 (0,01)	0,002 (0,01)	0,004 (0,01)	8,28	0,02*
Interaction avec les autres usagers	0,10 (0,05)	0,09 (0,04)	0,09 (0,05)	0,83	0,66
Planification					
Hésitations	0,12 (0,08)	0,09 (0,07)	0,12 (0,07)	2,06	0,36
Prise de décision	0,09 (0,07)	0,08 (0,04)	0,10 (0,06)	0,82	0,66
Position sur la voie	0,06 (0,05)	0,06 (0,04)	0,08 (0,04)	1,83	0,40
Adaptation de la vitesse	0,09 (0,09)	0,04 (0,04)	0,07 (0,07)	9,59	< 0,01*
Maniement des commandes	0,05 (0,06)	0,02 (0,02)	0,07 (0,06)	10,09	< 0,01*
Interventions du moniteur					
Orales	0,01 (0,02)	0,06 (0,04)	0,08 (0,05)	0,91	0,64
Mécaniques	0,08 (0,06)	0,01 (0,01)	0,01 (0,02)	4,60	0,10
Arrêt sur la voie	0,005 (0,01)	0,002 (0,01)	0,004 (0,01)	0,90	0,64

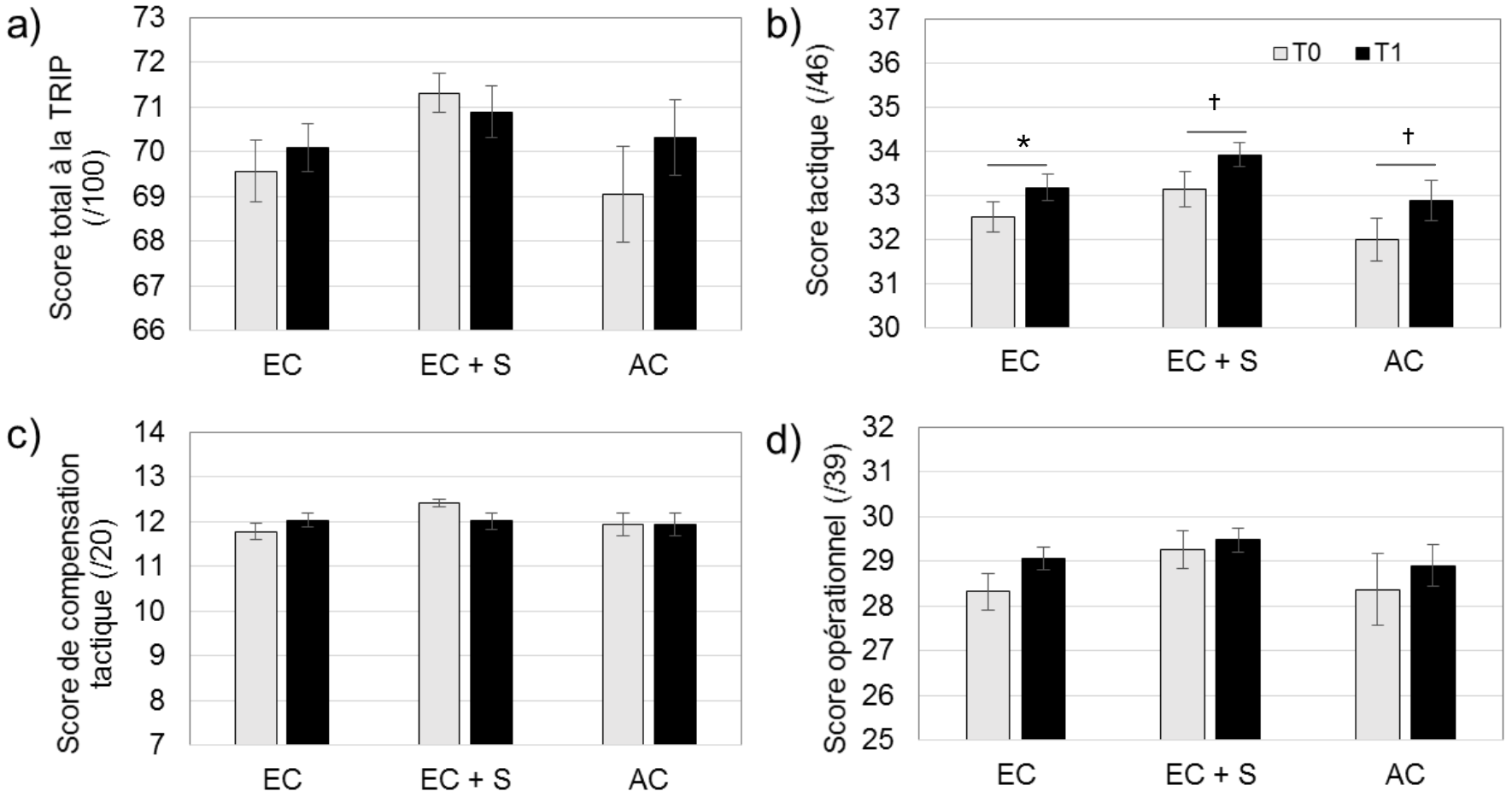
*EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle. Moy : Moyenne. E-T : Ecart-Type. p : p-valeur. [a] = ANOVA de Kruskal-Wallis. * p < 0,05. [†] p < 0,10.*

Tableau 18. Comparaison des scores obtenus à la TRIP lors des évaluations de conduite initiale (T0) et finale (T1)

	EC (n = 42) Moy (E-T)		Z	p[a]	EC + S (n = 28) Moy (E-T)		Z	p[a]	AC (n = 18) Moy (E-T)		Z	p[a]
	T0	T1			T0	T1			T0	T1		
Score total (/100)	69,6 (4,5)	70,1 (3,5)	0,35	0,73	71,3 (2,3)	70,9 (3,1)	0,57	0,57	69,1 (4,5)	70,3 (3,6)	1,11	0,27
Score tactique (/46)	32,5 (2,2)	33,2 (2,0)	2,22	0,03*	33,1 (2,1)	33,9 (1,4)	1,94	0,05†	32,0 (2,0)	32,9 (2,0)	1,88	0,06†
Score de compensation tactique (/20)	11,8 (1,1)	12,2 (1,0)	1,14	0,26	12,4 (0,5)	12,0 (1,0)	1,61	0,11	11,9 (1,1)	11,9 (1,1)	0	1,0
Score opérationnel (/39)	28,3 (2,7)	29,1 (1,7)	1,53	0,13	29,3 (2,2)	29,5 (1,4)	0,26	0,80	28,4 (3,5)	28,9 (1,9)	0,82	0,41

*EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle. Moy : Moyenne. E-T : Ecart-Type. p : p-valeur. [a] = test non paramétrique de Wilcoxon. * p < 0,05. † p < 0,10.*

Figure 23. Performances à la TRIP à T0 et à T1 pour les trois groupes de participants

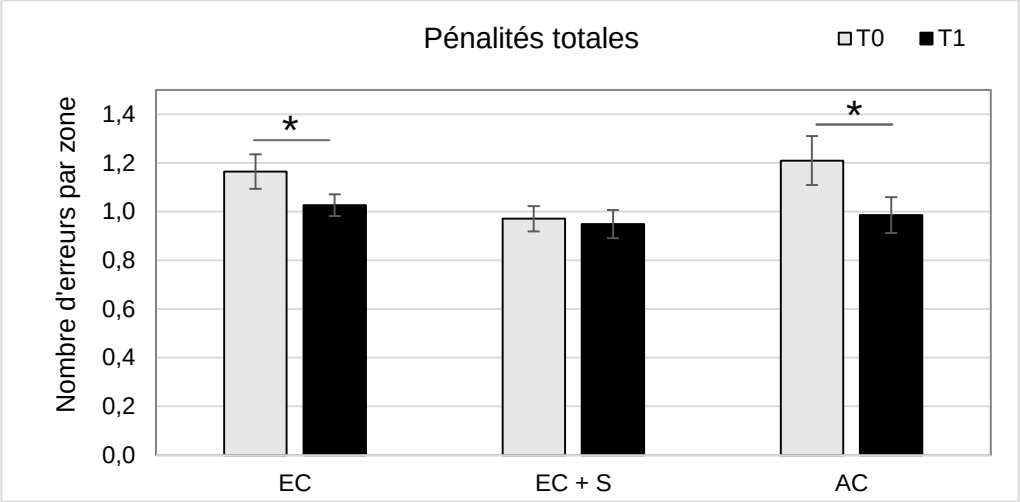


EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + S. AC : Activité Contrôle. T0 : évaluation initiale. T1 : évaluation finale. TRIP : Test Ride for Investigating Practical fitness to drive.

** $p < 0,05$; † $p < 0,10$*

Les participants des groupes EC et AC ont significativement fait moins d'erreurs lors du parcours de conduite final que lors du parcours de conduite initial ($p = 0,04$ et $p < 0,001$, respectivement). En revanche, cette différence du nombre d'erreurs total entre les deux évaluations n'était pas significative pour les participants du groupe EC + S (Tableau 19 ; Figure 24).

Figure 24. Nombre de pénalités totales relevées grâce à la grille d'observation du comportement à T0 et à T1 pour les trois groupes de participants



EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle. T0 : évaluation initiale. T1 : évaluation finale.

L'analyse détaillée des erreurs par catégorie, présentée à titre descriptif uniquement, a indiqué qu'à la suite de l'entraînement, les participants du groupe EC ont mieux : i) respecté la signalisation et les marquages au sol ($p < 0,001$), ii) adapté leur vitesse aux situations rencontrées ($p = 0,02$), et iii) maintenu leur position sur la voie, que ce soit en termes d'écarts latéraux ou de distances de sécurité ($p < 0,001$). De plus, les conducteurs de ce groupe avaient tendance à être moins hésitants lors de leurs actions ($p = 0,06$) et que le moniteur avait eu tendance à moins intervenir sur les commandes du véhicule (volant, pédales ou boîte de vitesses) lors du parcours final que lors du parcours initial ($p = 0,06$). Concernant les participants du groupe contrôle (AC), l'analyse détaille des erreurs par catégorie a indiqué qu'à la suite de l'intervention, les conducteurs avaient significativement amélioré le maniement des commandes du véhicule ($p = 0,04$), leur positionnement sur la chaussée ($p = 0,04$), et la planification de leurs actions. En effet, ils étaient moins hésitants ($p = 0,001$) et avaient tendance à prendre de meilleures décisions lors des suivis de direction ou des changements de voie ($p = 0,08$). En outre, le moniteur de conduite était significativement moins intervenu sur les commandes du véhicule lors de l'évaluation finale ($p = 0,01$).

Pour les participants du groupe EC + S, bien que le score de pénalités total n'ait pas changé entre les deux évaluations, l'analyse détaillée des erreurs par catégorie a mis en évidence qu'à la suite de l'entraînement, les conducteurs avaient significativement amélioré leur positionnement sur la chaussée ($p < 0,001$) et qu'ils avaient tendance à être moins hésitants lors de la réalisation de leurs actions ($p = 0,05$). De plus, le moniteur avaient eu tendance à moins intervenir sur les commandes du véhicule lors de l'évaluation finale ($p = 0,06$). En revanche, les participants avaient eu plus de difficultés à manier le véhicule ($p < 0,01$), avaient eu tendance à faire davantage d'erreurs d'interaction avec les autres usagers ($p = 0,08$), à moins bien adapter leur vitesse ($p = 0,08$) et qu'ils s'étaient davantage arrêtés sur la chaussée, souvent à cause de « calages » du moteur ($p = 0,06$).

Tableau 19. Comparaison du nombre d'erreurs par zone d'intérêt commises lors des évaluations de conduite initiale (T0) et finale (T1)

	EC (n = 42) Moy (E-T)		p	EC + S (n = 28) Moy (E-T)		p	AC (n = 17) Moy (E-T)		p[a]
	T0	T1		T0	T1		T0	T1	
Score de pénalités totales	1,16 (0,46)	1,03 (0,29)	0,04*	0,97 (0,27)	0,95 (0,31)	0,48	1,21 (0,41)	0,99 (0,03)	< 0,001*
Sous-scores par catégorie									
Attention visuelle	0,31 (0,06)	0,33 (0,06)	0,20	0,34 (0,06)	0,34 (0,08)	0,72	0,35 (0,05)	0,37 (0,01)	0,46
Respect de la signalisation	0,01 (0,01)	0,00 (0,00)	< 0,001*	0,002 (0,01)	0,00 (0,00)	0,35	0,004 (0,01)	0,001 (0,003)	0,14
Interaction avec les autres usagers	0,10 (0,05)	0,11 (0,05)	0,56	0,09 (0,04)	0,10 (0,05)	0,08†	0,09 (0,05)	0,11 (0,07)	0,27
Planification									
Hésitations	0,12 (0,08)	0,10 (0,06)	0,06†	0,09 (0,07)	0,07 (0,05)	0,05†	0,12 (0,07)	0,07 (0,04)	0,001*
Prise de décision	0,09 (0,07)	0,10 (0,04)	0,23	0,08 (0,04)	0,08 (0,04)	0,82	0,10 (0,06)	0,07 (0,04)	0,08†
Position sur la voie	0,06 (0,05)	0,03 (0,03)	< 0,001*	0,06 (0,04)	0,02 (0,02)	<0,001*	0,08 (0,04)	0,04 (0,03)	0,04*
Adaptation de la vitesse	0,09 (0,09)	0,05 (0,05)	0,02*	0,04 (0,04)	0,06 (0,05)	0,08†	0,07 (0,07)	0,08 (0,06)	0,83
Maniement des commandes	0,05 (0,06)	0,04 (0,04)	0,20	0,02 (0,02)	0,04 (0,03)	< 0,01*	0,07 (0,06)	0,04 (0,04)	0,04*
Interventions du moniteur									
Orales	0,08 (0,06)	0,08 (0,04)	0,67	0,06 (0,04)	0,07 (0,04)	0,12	0,08 (0,05)	0,07 (0,03)	0,11
Mécaniques	0,012 (0,02)	0,006 (0,01)	0,06†	0,006 (0,01)	0,003 (0,01)	0,06†	0,012 (0,02)	0,002 (0,005)	0,01*
Arrêt sur la voie	0,005 (0,01)	0,004 (0,01)	0,76	0,002 (0,01)	0,007 (0,01)	0,06†	0,004 (0,01)	0,004 (0,01)	0,50

*EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. AC : Activité Contrôle. Moy : Moyenne. E-T : Ecart-Type. p : p-valeur. [a] = test non paramétrique de Wilcoxon. * p < 0,05. † p < 0,10.*

V.3.3 Evaluation de l'efficacité des différentes interventions sur la performance de conduite

V.3.3.1 *Effet de l'entraînement*

Afin d'évaluer l'effet de l'entraînement, les scores de changements de chacune des variables dépendantes ont été comparés entre les groupes EC et AC.

Grille d'évaluation de la performance de conduite (TRIP)

Aucun effet de l'entraînement sur les performances de conduite évaluées par le moniteur de conduite grâce à la TRIP n'a été mis en évidence. La comparaison des scores de changements (T1 – T0) entre le groupe EC et le groupe AC a révélé que les interventions semblaient avoir eu la même efficacité sur la performance de conduite globale ($U = 332$; $p = 0,46$), ainsi que sur les dimensions tactique ($U = 372,5$; $p = 0,94$), de compensation tactique ($U = 345$; $p = 0,60$) et opérationnelle ($U = 376$; $p = 0,98$) de la TRIP.

Grille d'observation du comportement de conduite

Aucun effet de l'entraînement sur le nombre total d'erreurs commises par les participants ($U = 299$; $p = 0,34$) n'a été montré. En revanche, la comparaison des sous-scores de changements (T1 – T0) par catégorie, réalisée à titre descriptif, a révélé que l'entraînement cognitif tendait à être plus efficace pour réduire le nombre d'erreurs relatives au respect de la signalisation que l'activité contrôle ($U = 262,5$; $p = 0,06$). Néanmoins, lors de l'évaluation initiale, les participants du groupe EC avaient fait significativement plus d'erreurs relatives au respect de la signalisation que les participants des autres groupes. L'activité contrôle était plus efficace pour réduire les erreurs de planification que l'entraînement cognitif, erreurs liées à la fois aux hésitations ($U = 235,5$; $p = 0,04$) et à la prise de décision ($U = 233,5$; $p = 0,04$).

V.3.3.2 *Effet de l'immersion sur simulateur de conduite*

Afin d'évaluer l'effet du simulateur de conduite, les scores de changements de chacune des variables dépendantes ont été comparés entre les groupes EC et EC + S.

Grille d'évaluation de la performance de conduite (TRIP)

Aucun effet de l'immersion sur le simulateur sur les performances de conduite évaluées par le moniteur de conduite grâce à la TRIP n'a été mis en évidence. La comparaison des scores de changements (T1 – T0) entre les deux groupes expérimentaux (EC et EC + S) a révélé que les deux entraînements semblaient avoir eu la même efficacité

sur la performance de conduite globale (U = 550 ; p = 0,65), ainsi que sur les dimensions tactique (U = 574,5 ; p = 0,16), de compensation tactique (U = 451,5 ; p = 0,10) et opérationnelle (U =517,5 ; p = 0,40) de la TRIP.

Grille d'observation du comportement de conduite

Aucun effet du simulateur de conduite sur le nombre total d'erreurs commises par les participants (U = 503 ; p = 0,31) n'a été montré. En revanche, la comparaison des sous-scores de changements par catégorie, réalisée à titre descriptif, a indiqué que le simulateur diminuait l'efficacité de l'entraînement cognitif sur la diminution des erreurs relatives au respect de la signalisation et des marquages au sol (U = 375 ; p = 0,01). Toutefois, les participants du groupe EC avaient fait significativement plus d'erreurs que les participants des deux autres groupes lors de l'évaluation de conduite initiale. En outre, le simulateur semblait avoir eu un effet délétère sur l'adaptation de la vitesse (U = 344 ; p = 0,004) et sur le maniement des commandes (U = 409 ; p = 0,03). En effet, après l'entraînement, les participants du groupe EC + S ont augmenté leur nombre d'erreurs relatives à ces catégories, contrairement aux participants du groupe EC.

V.3.4 Description des performances de conduite en fonction du statut de calibration

Afin d'évaluer l'influence du biais de calibration de la cognition sur les performances de conduite, la comparaison des performances de conduite des participants lors des évaluations initiale et finale, a été réalisée, en fonction de leur statut de calibration (SE ou SsE à T0 et SE, SsE ou estimateurs corrects à T1).

V.3.4.1 *Lors de l'évaluation initiale (T0)*

Grille d'évaluation de la performance de conduite (TRIP)

Aucune différence significative entre les scores à T0 n'a été mise en évidence entre les SE et les SsE (Tableau 20).

Grille d'observation du comportement de conduite

Les SE n'ont pas fait significativement plus d'erreurs au volant que les SsE lors du parcours initial (Tableau 21). Ce résultat appuye le précédent obtenu à la suite de l'analyse des données de la TRIP et confirme que les performances de conduite globales des SE et SsE étaient comparables.

L'analyse des sous-scores de pénalités par catégorie, réalisée à titre descriptif, a néanmoins indiqué que les SE avaient tendance à être plus hésitants que les SsE lors du parcours initial (p = 0,06), reflétant une légère difficulté à planifier les actions à venir. Ce résultat est en accord avec l'hypothèse formulée. En revanche, pour les autres sous-scores, les différences entre les SE et les SsE n'étaient pas significatives. Ainsi, contrairement à notre hypothèse, les SE n'ont pas eu plus de difficultés à adapter leur comportement en fonction du trafic et des situations routières rencontrées.

Tableau 20. Scores obtenus à la TRIP par les SE et les SsE lors de l'évaluation de conduite initiale

	SE (n = 50) Moy (E-T)	SsE (n = 38) Moy (E-T)	U	p[a]
Score total (/100)	69,6 (4,4)	70,5 (3,4)	917,5	0,79
Score tactique (/46)	32,5 (2,1)	32,8 (2,2)	846	0,38
Score de compensation tactique (/20)	12,0 (1,0)	12,0 (0,9)	936	0,91
Score opérationnel (/39)	28,6 (2,9)	28,7 (2,5)	877	0,54

SE = Sur-Estimateur. SsE = Sous-Estimateur. Moy = Moyenne. E-T = Ecart-Type. p = p-valeur. [a] : test non paramétrique de Mann-Whitney.

Tableau 21. Nombre d'erreurs par zone d'intérêt commises par les SE et les SsE lors de l'évaluation de conduite initiale

	SE (n = 49) Moy (E-T)	SsE (n = 38) Moy (E-T)	U	p[a]
Score de pénalité total	1,16 (0,45)	1,05 (0,33)	840	0,77
Sous-scores par catégorie				
Attention visuelle	0,33 (0,06)	0,33 (0,07)	925	0,96
Respect de la signalisation	0,007 (0,01)	0,005 (0,01)	844,5	0,46
Interaction avec les autres usagers	0,09 (0,05)	0,10 (0,05)	800,5	0,27
Planification				
Hésitations	0,12 (0,08)	0,10 (0,08)	709	0,06[†]
Prise de décision	0,10 (0,07)	0,08 (0,05)	795	0,25
Position sur la voie	0 07 (0 05)	0,06 (0,04)	834	0,41
Adaptation de la vitesse	0,08 (0,08)	0,07 (0,07)	880,5	0,67
Maniement des commandes	0,05 (0,05)	0,04 (0,06)	856,5	0,53
Interventions du moniteur				
Orales	0,08 (0,06)	0,07 (0,05)	841	0,44
Mécaniques	0,011 (0,02)	0,009 (0,02)	888,5	0,72
Arrêt sur la voie	0,005 (0,01)	0,003 (0,006)	857	0,53

SE = Sur-Estimateur. SsE = Sous-Estimateur. Moy = Moyenne. E-T = Ecart-Type. p = p-valeur. [a] : test non paramétrique de Mann-Whitney. [†]p<0,010

V.3.4.2 *Lors de l'évaluation finale (T1)*

Grille d'évaluation de la performance de conduite (TRIP)

Une différence significative entre les trois groupes pour le score total à la TRIP a été mise en évidence (Tableau 22). Les SsE avaient un score total à la TRIP significativement supérieur à celui des SE (p = 0,02). De plus, une différence proche de la signification a été montrée pour le score tactique (p = 0,08). Les SsE avaient un score tactique légèrement plus élevé que les deux autres groupes.

Grille d'observation du comportement de conduite

Une différence significative entre les groupes pour le score de pénalités total (p = 0,04) a été mise en évidence (Tableau 23). Les SE avaient fait significativement plus d'erreurs lors du parcours final que les SsE (p = 0,04). L'analyse des sous-scores de pénalités par catégorie, réalisée à titre descriptif, a mis en évidence que les SE étaient plus hésitants que les SsE lors du parcours final (p = 0,03) et qu'ils avaient tendance à moins bien adapter leur vitesse et moins bien gérer les commandes du véhicule que les SsE (p = 0,09). En outre, le moniteur est davantage intervenu sur les commandes (volant, pédales ou boîte de vitesses) lors de l'évaluation finale pour les SE que pour les SsE (p < 0,01).

Tableau 22. Scores obtenus à la TRIP par les SE, les SsE et les estimateurs corrects lors de l'évaluation de conduite finale

	SE (n = 29) Moy (E-T)	Corrects (n = 41) Moy (E-T)	SsE (n = 18) Moy (E-T)	H	p[a]
Score total (/100)	69,1 (3,7)	70,9 (2,8)	71,3 (3,4)	8,18	0,02*
Score tactique (/46)	32,6 (2,3)	33,6 (1,6)	34,0 (1,1)	4,93	0,08[†]
Score de compensation tactique (/20)	11,8 (1,1)	12,0 (1,0)	12,4 (0,6)	4,25	0,12
Score opérationnel (/39)	29,1 (1,4)	29,2 (1,6)	29,1 (2,1)	0,19	0,91

*SE = Sur-Estimateur. SsE = Sous-Estimateur. Moy = Moyenne. E-T = Ecart-Type. p = p-valeur. [a] : ANOVA de Kruskall-Wallis. * = p < 0,05. [†] = p < 0,10.*

Tableau 23. Nombre d'erreurs par zone d'intérêt commises par les SE, les SsE et les estimateurs corrects lors de l'évaluation de conduite finale

	SE (n = 29) Moy (E-T)	Correct (n = 41) Moy (E-T)	SsE (n = 17) Moy (E-T)	H	p[a]
Score de pénalité total	1,08 (0,33)	0,98 (0,28)	0,86 (0,23)	6,27	0,04*
Sous-scores par catégorie					
Attention visuelle	0,34 (0,07)	0,34 (0,08)	0,33 (0,06)	0,33	0,85
Respect de la signalisation	0,001 (0,002)	0,0003 (0,002)	0,001 (0,003)	0,84	0,66
Interaction avec les autres usagers	0,11 (0,05)	0,11 (0,06)	0,09 (0,06)	1,19	0,55
Planification					
Hésitations	0,11 (0,06)	0,08 (0,04)	0,06 (0,04)	7,00	0,03*
Prise de décision	0,10 (0,04)	0,09 (0,04)	0,07 (0,03)	1,92	0,38
Position sur la voie	0 04 (0 03)	0,03 (0,02)	0,03 (0,03)	2,30	0,32
Adaptation de la vitesse	0,07 (0,06)	0,06 (0,04)	0,04 (0,05)	4,90	0,09†
Maniement des commandes	0,04 (0,03)	0,04 (0,04)	0,03 (0,04)	4,81	0,09†
Interventions du moniteur					
Orales	0,08 (0,04)	0,07 (0,04)	0,06 (0,03)	1,66	0,44
Mécaniques	0,007 (0,01)	0,004 (0,01)	0,00 (0,00)	9,60	<0,01*
Arrêt sur la voie	0,005 (0,01)	0,005 (0,01)	0,007 (0,01)	0,64	0,73

*SE = Sur-Estimateur. SsE = Sous-Estimateur. Moy = Moyenne. E-T = Ecart-Type. p = p-valeur. [a] : ANOVA de Kruskall-Wallis. * = p < 0,05. † = p < 0,10.*

V.4 Discussion

L'objectif principal de cette troisième partie de l'étude était de comparer l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif informatisé, à ce même programme associé à une immersion sur le simulateur sur leurs performances de conduite sur route de conducteurs seniors. Des programmes d'entraînement cognitif ciblant principalement les fonctions d'attention visuelle ont montré une efficacité limitée pour améliorer les performances de conduite des personnes âgées (Dobres et al., 2013 ; Gaspar et al., 2012 ; Roenker et al., 2003 ; Staplin et al., 2012). Deux approches expérimentales ont donc été employées pour faire face à cette limitation : i) proposer un programme d'entraînement cognitif plus riche, c'est-à-dire ciblant davantage de fonctions cognitives (capacités attentionnelles, capacités visuo-spatiales, fonctions exécutives, et mémoire) afin de permettre un meilleur transfert des bénéfices sur une activité complexe, la conduite automobile (Anguera et al., 2013 ; Basak et al., 2008 ; Casutt et al., 2014) ; et ii) associer une immersion sur simulateur de

conduite à cet entraînement cognitif informatisé pour permettre aux conducteurs d'améliorer l'apprentissage des stratégies à appliquer (Knowles et al., 2005).

V.4.1 Effet de l'entraînement cognitif sur les performances de conduite sur route

Le programme d'entraînement cognitif n'est pas apparub être plus efficace que l'activité contrôle pour améliorer les performances de conduite globales sur route évaluées par le moniteur d'auto-école. Ces résultats rejoignent ceux de trois études publiées en 2012 et 2013 qui n'avaient pas montré d'amélioration des performances de conduite sur route ou sur simulateur à la suite d'un programme d'entraînement cognitif (Dobres et al., 2013 ; Gaspar et al., 2012 ; Staplin et al., 2012). Le protocole mis en place dans cette étude n'a pas permis d'amélioration malgré le fait que i) la durée d'entraînement était plus longue que celle des trois études précédentes (de 27 à 30 heures d'entraînement en moyenne, réparties sur trois mois, contre environ 10 heures d'entraînement réparties sur deux semaines pour Dobres et al., 2013 et Staplin et al., 2012, et 16 heures d'entraînement réparties sur deux mois pour Gaspar et al., 2012) ; et ii) notre entraînement cognitif comprenait de nombreux exercices sollicitant de nombreuses fonctions cognitives, telles que l'attention, les capacités visuo-spatiales, la mémoire et les fonctions exécutives, contrairement à Dobres et collaborateurs et Staplin et collaborateurs qui n'avaient entraîné que la vitesse de traitement de l'information et l'attention visuelle.

Les interventions proposées dans notre étude ont toutefois permis l'amélioration du score tactique à la TRIP pour tous les participants. D'après le modèle de Michon (1985), cette amélioration reflète une meilleure adaptation comportementale à la suite des interventions, lors des dépassements, des changements de voie et traduit également un meilleur ajustement de la vitesse et des distances de sécurité. Le niveau tactique de la conduite fait appel à des fonctions cognitives de bas niveau, telles que la vitesse de traitement, mais également à des fonctions exécutives telles que la planification, la flexibilité mentale ou encore la mémoire de travail. Une étude de 2001 a montré que l'adaptation comportementale au volant était un prédicteur des accidents ayant lieu en intersections (De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2001). Ainsi, cette amélioration de l'adaptation comportementale pourrait améliorer la sécurité des conducteurs, notamment en intersection.

Dans le cadre de cette étude, une grille d'observation du comportement des conducteurs, remplie en temps réel par l'expérimentateur, a été développée. Cette grille a permis une analyse plus fine de l'activité de conduite grâce à la description précise des types d'erreurs commises par les conducteurs. En effet, la grille TRIP, qui était remplie a posteriori par le moniteur d'auto-école, une fois le parcours terminé, donnait une information

plus globale sur la performance de conduite. La forte corrélation négative entre le score de pénalités total issu de cette grille d'observation et le score total à la TRIP a attesté de la cohérence entre les deux types de codage : un conducteur ayant commis de nombreuses erreurs lors du parcours avait un score total à la TRIP bas, et inversement, un conducteur ayant commis peu d'erreurs lors du parcours avait un score total à la TRIP élevé.

L'entraînement cognitif et l'activité contrôle ont réduit le nombre d'erreurs totales lors de l'évaluation finale par rapport à l'évaluation initiale. Ces améliorations concernaient à la fois : i) le niveau **opérationnel** de la conduite, c'est-à-dire le contrôle du véhicule (souplesse dans le maniement du volant, dosage lors de l'appui sur les pédales, régime moteur adapté à la situation et manipulation correct du levier de vitesse) ; ii) le niveau **tactique** de la conduite, c'est-à-dire l'adaptation de la vitesse et de la position du véhicule en fonction des conditions de trafic et de météo, par exemple (circulation dense, temps de pluie, etc.) et de la situation routière (conduite en ville ou en périphérie sur voie rapide) ; et iii) le niveau **stratégique** de la conduite, c'est-à-dire la planification des actions à réaliser pour suivre l'itinéraire indiqué par le moniteur d'auto-école. De plus, le moniteur a eu tendance à moins intervenir sur les commandes du véhicule ce qui indique que les participants des trois groupes ont eu un comportement moins risqué lors de l'évaluation finale.

Cette amélioration ne peut pas être due à un effet test-retest car la précaution méthodologique de choisir un parcours final différent du parcours initial, tout en respectant sa longueur, le type d'infrastructures rencontrées, et le type de route (ville, banlieue ou voie rapide/autoroute) a été prise. Deux hypothèses peuvent être formulées pour expliquer cette amélioration des performances de conduite dans les deux groupes. La première est que l'activité contrôle de lecture a eu le même effet que l'entraînement cognitif et a permis une amélioration de l'adaptation comportementale en conduite car c'est une activité où le traitement de l'information a un rôle central (Wilson et al., 2010). La seconde hypothèse concerne la participation aux formations encadrées. Au cours de ces formations, les participants étaient sensibilisés au vieillissement cognitif, les différentes fonctions cognitives leurs étaient présentées et des exemples en conduire leur étaient fournis. Le contenu de ces formations et les exemples contextualisés en conduite ont pu agir sur le niveau stratégique du modèle de Michon (1985) et induire le changement de comportement des participants en les rendant plus prudents. Ce résultat confirmerait les déclarations de changement de comportement au volant de certains conducteurs après avoir suivi des programmes de formation théorique (Nasvadi, 2007 ; Skufca, 2008; Strain, 2003). Ces hypothèses pourraient être vérifiées en ajoutant un groupe ne réalisant que les formations

encadrées et un groupe contrôle passif, ne réalisant ni les formations, ni l'activité de lecture, permettant de contrôler l'effet de l'inclusion dans le protocole.

V.4.2 Effet de l'immersion sur simulateur sur les performances de conduite sur route

L'entraînement cognitif couplé à l'immersion sur simulateur de conduite n'a pas semblé être plus efficace que l'entraînement cognitif seul pour améliorer les performances de conduite globales sur route telles qu'elles ont été évaluées dans cette étude. A notre connaissance, aucune étude n'avait évalué le rôle du simulateur de conduite dans le transfert des bénéfices d'un entraînement de conduite sur route. En revanche, des entraînements basés sur simulateur de conduite ont déjà prouvé leur efficacité pour améliorer des comportements liés aux capacités d'attention visuelle, tels que la vérification des angles morts, ou l'exploration visuelle (Lavallière et al., 2012 ; Romoser & Fisher, 2009). Plus récemment, Casutt et collaborateurs (2014) ont montré qu'un entraînement sur simulateur de conduite était plus efficace qu'un entraînement cognitif ciblé sur les capacités attentionnelles pour améliorer la performance de conduite globale sur route (c'est-à-dire du score composite issu des sous-scores relatifs à l'observation du trafic, la vitesse en intersection, les contrôles dans les rétroviseurs, le positionnement sur la voie, l'adaptation de la vitesse en fonction des situations routières et du trafic et les distances de sécurité). Aucun effet de l'immersion sur le simulateur de conduite sur le nombre d'erreurs totales commises par les participants n'a été mis en évidence. Ainsi, tel qu'utilisé dans notre étude, le simulateur ne semble pas avoir apporté de bénéfices supplémentaires à l'entraînement et n'a pas permis le transfert comme formulé dans les hypothèses initiales.

Par conséquent, le simulateur de conduite ne semble pas efficace pour améliorer les performances de conduite globales sur route, telles qu'elles ont été évaluées. Les bénéfices seraient peut être observables sur les situations qui ont spécifiquement été proposées au cours des trois séances de simulation, comme cela a déjà été montré lors des changements de voie (Lavallière et al., 2012) et en intersection (Romoser & Fisher, 2009). De plus, les participants inclus de cette étude n'avaient pas de difficultés particulières en conduite. Il serait intéressant d'étudier l'impact de ce type d'entraînement chez des populations de conducteurs plus à risque d'accident ou ayant des capacités cognitives affaiblies (i.e. présentant des pathologies cognitives débutantes).

V.4.3 Calibration des capacités cognitives et performances de conduite

L'objectif secondaire de cette partie de l'étude était de décrire les performances de conduite des seniors en fonction de leur statut de calibration, indépendamment du groupe

dans lequel ils se trouvaient. Pour ce faire, la comparaison des performances de conduite, d'une part, des SE et des SsE avant les interventions (T0), et d'autre part, des SE, des SsE et des estimateurs corrects après les interventions (T1) a été réalisée.

Lors de l'évaluation initiale, le moniteur d'auto-école a évalué comme étant équivalentes les performances de conduite des SE et des SsE. De plus, les SE avaient tendance à être plus hésitants et à demander davantage confirmation au moniteur d'auto-école lorsqu'il devait suivre un itinéraire ou changer de voie, par exemple. En revanche, lors de l'évaluation finale, les SsE ont eu de meilleures performances de conduite globales et une meilleure adaptation comportementale au volant que les SE. En outre, les SE ont commis plus d'erreurs que les SsE lors du parcours final et ces erreurs étaient liées à un plus grand nombre d'hésitations et à davantage d'interventions du moniteur sur les commandes du véhicule. Les performances des estimateurs corrects étaient toujours situées à un niveau intermédiaire entre celles des SE et des SsE, la différence entre les SE et les corrects estimateurs et les SsE et les corrects estimateurs était non significative pour toutes les variables dépendantes considérées.

Pour conclure, les participants étant devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives n'ont pas réalisé la meilleure performance de conduite, contrairement à l'hypothèse de départ. En revanche, leur performance est toujours restée en moyenne supérieure à celle des SE : un gradient de performance entre les SE, les estimateurs corrects et les SsE a été observé. Les SsE ont eu une performance de conduite supérieure aux autres groupes, pouvant refléter un comportement plus prudent sur la route. Des travaux complémentaires visant à déterminer le lien entre la calibration des capacités cognitives et des capacités de conduite permettraient de vérifier si les individus qui sur ou sous-estiment leurs capacités cognitives sont également ceux qui sur ou sous-estiment leurs capacités de conduite.

VI. Focus 4 : Entraînement cognitif informatisé et bien-être subjectif

VI.1 Introduction

D'après l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), le bien-être global des individus se mesure grâce à des **indicateurs objectifs** liés aux conditions de vie matérielles et relatifs aux revenus, au patrimoine, à l'emploi, au salaire et au logement ; et à des **indicateurs subjectifs** liés à la qualité de vie et relatifs à l'état de santé, à l'équilibre entre la vie privée et la vie professionnelle, à l'éducation et aux compétences, aux liens sociaux et à l'engagement civique, à la qualité de l'environnement, et à la sécurité personnelle (OCDE, 2016). Le bien-être subjectif regroupe deux composantes relatives à la cognition, la satisfaction de vie globale et spécifique ; et deux composantes liées aux émotions, les affects positifs et négatifs (Diener, 1984 ; Diener, 2012 ; Diener, Oishi, & Lucas, 2003).

D'après l'OMS, vieillir en restant actif est « le processus consistant à optimiser les possibilités de bonne santé, de participation et de sécurité afin d'accroître la qualité de vie pendant la vieillesse » (Organisation Mondiale de la Santé, 2002). Le vieillissement actif, ou « bien vieillir », est associé au bien-être subjectif de l'individu (Alaphilippe & Bailly, 2013) et dépend de plusieurs facteurs, tels que l'état de santé, l'activité cognitive, la participation sociale et les affects positifs (Caprara et al., 2013 ; Fernández-Ballesteros, 2008). L'autonomie et l'indépendance des personnes âgées sont des facteurs essentiels au vieillissement actif. D'après l'OMS (2002), l'autonomie représente « l'aptitude perçue à maitriser, affronter et prendre des décisions personnelles relatives à sa vie quotidienne dans le respect de ses propres règles et préférences » ; et l'indépendance est définie comme : « la capacité à s'acquitter des tâches quotidiennes, c'est-à-dire à vivre de manière indépendante dans un environnement habituel sans aide extérieure ou avec une aide extérieure mineure ». Le maintien de la mobilité des personnes âgées et, notamment le maintien de l'activité de conduite, participe au vieillissement actif. En effet, rester mobile permet aux personnes âgées de conserver leur indépendance (Adler & Rottunda, 2006 ; Donorfio, Mohyde, & D'Ambrosio, 2008 ; Yassuda, Wilson, & Mering, 1997), de maintenir leur état de santé physique et psychologique (Groessl et al., 2007 ; Yeom et al., 2008), d'avoir des activités en dehors de leur domicile (Siren et al., 2015), bénéfiques à leur participation sociale (Mackett, 2015 ; Webber, Porter, & Menec, 2010). De plus, un déclin des capacités cognitives est associé à une diminution de la qualité de vie (Carmelli, Swan, LaRue, & Eslinger, 1997) ; l'amélioration du fonctionnement cognitif est corrélée à l'amélioration de qualité de vie (Cohen et al., 1999) ; et l'entraînement cognitif des seniors

permet de prévenir le déclin de leur qualité de vie (Wolinsky, Unverzagt, Smith, Jones, Stoddard, et al., 2006 ; Wolinsky, Unverzagt, Smith, Jones, Wright, et al., 2006).

Par conséquent, après avoir discuté de l'efficacité de nos interventions sur les performances cognitives, sur la calibration de la cognition et sur les performances de conduite des conducteurs seniors dans les trois focus précédents, l'effet de notre programme d'entraînement cognitif sur le bien-être et la satisfaction de vie des seniors va être évalué. Trois dimensions relatives au bien-être et à la satisfaction de vie ont été étudiées dans le cadre de cette quatrième partie : la qualité de vie, l'auto-efficacité et l'autonomie psychologique.

- La **qualité de vie** a été définie en 1993 par l'OMS comme étant « la perception qu'a un individu de sa place dans l'existence, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lequel il vit et en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes. C'est un concept très large, influencé de manière complexe par la santé physique de la personne, son état psychologique, son niveau d'indépendance, ses relations sociales ainsi que sa relation aux éléments essentiels de son environnement » (The WHOQOL Group, 1993).

- L'**auto-efficacité** représente la croyance de l'individu en sa capacité à organiser et réaliser les actions requises à l'exécution d'une tâche (Bandura, 1986 ; Bandura & Adams, 1977). Le sentiment d'auto-efficacité de l'individu est prédicteur de son intention de changer de comportement et impacte ses choix comportementaux, ainsi que sa capacité à faire face et à résister aux difficultés rencontrées (Bandura & Adams, 1977). Plus le sentiment d'auto-efficacité est élevé et plus l'individu est capable d'initier un changement de comportement ou de fournir des efforts pour parvenir à surmonter les difficultés (Bandura, 1993).

- Enfin, l'**autonomie psychologique** correspond au « maintien de la volonté d'exercer soi-même son pouvoir de décider et d'agir en tenant compte de trois facteurs : la dynamique de l'individu, ses capacités et son intégration sociale » (Dubé, Alain, Lapierre, & Lalande, 1992).

L'objectif principal de ce quatrième focus était donc de décrire l'influence de nos interventions sur ces trois dimensions. L'hypothèse formulée était que les participants des deux groupes expérimentaux (EC et EC + S) déclareraient une meilleure qualité de vie, une plus grande auto-efficacité et une meilleure autonomie psychologique à la suite des interventions, contrairement aux participants du groupe contrôle. Aucune hypothèse quant au rôle qu'aurait pu jouer l'mmersion sur simulateur de conduite sur ces variables n'a été

émise. L'objectif secondaire était de déterminer, d'une part, si les SE et les SsE ressentaient le même bien-être subjectif et, d'autre part, si les conducteurs qui avaient corrigé leur biais de calibration en étant devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives avaient amélioré leur bien-être subjectif. Du fait que les personnes qui surestiment leurs performances ont une grande confiance en leurs capacités (Kruger & Dunning, 1999), les hypothèses étaient, qu'avant les interventions, les SE déclareraient un niveau de bien-être supérieur et qu'ils se sentiraient plus autonomes que les SsE. De plus, les participants devenus estimateurs corrects après les interventions auraient un niveau de bien-être subjectif supérieur aux SsE et un sentiment d'auto-efficacité plus élevé, traduisant leur intention de changer de comportement (Bandura & Adams, 1977).

VI.2 Méthodologie

VI.2.1 Participants

Les caractéristiques des 88 participants à cette étude (42 participants dans le groupe EC, 28 participants dans le groupe EC + S, et 18 participants du groupe AC) sont présentées dans le Tableau 9 page 108.

VI.2.2 Evaluation du bien-être subjectif et de la satisfaction de vie

Différentes dimensions du bien-être subjectif et de la satisfaction de vie des conducteurs seniors participants à cette étude ont été évaluées grâce à trois questionnaires. Ces indicateurs ont été choisis à la suite d'une revue de la littérature des questionnaires existants, traduits en français et dans la mesure du possible, pour lesquels il existait des valeurs de référence en population.

VI.2.2.1 *WHOQOL-Bref*

Le premier questionnaire a permis d'évaluer la qualité de vie. Il s'agit de la version française standardisée du WHOQOL-Bref (pour « World Health Organization Quality of Life », et « Bref » pour la version courte) développé par l'OMS (The WHOQOL Group, 1998) et présenté en Annexe 7, page 287. Les propriétés psychométriques de cet outil se sont révélées être correctes pour les personnes âgées de plus de 60 ans, avec un coefficient de fidélité compris entre 0,5 et 0,9 et un coefficient de validité compris entre 0,6 et 0,8 (Steinbüchel, Lischetzke, Gurny, & Eid, 2006) et également pour la population française (Baumann, Erpelding, Regat, Collin, & Briancon, 2010). Ce questionnaire est la version du

WHOQOL-100 qui comportait initialement 100 items (Saxena, Carlson, Billington, & Orley, 2001).

Cette version courte du questionnaire WHOQOL évalue la qualité de vie par le biais de 26 questions, la première concerne *la perception générale de la qualité de vie* par l'individu, la seconde touche *la satisfaction générale de son état de santé* et les 24 autres questions permettent d'évaluer quatre dimensions de la qualité de vie :

- *la santé physique*, prend en compte sept items relatifs à la douleur physique et à la prise de médicaments, à l'énergie ressentie et à la qualité du sommeil, à la mobilité, et à la satisfaction liée aux activités et au travail ;
- *la santé psychologique*, prend en compte six items relatifs à l'estime de soi, à la concentration, à l'image de soi, à la satisfaction personnelle et aux émotions négatives ressenties ;
- *les relations sociales*, prend en compte trois items relatifs aux relations personnelles, au soutien social et à l'épanouissement sexuel ;
- *l'environnement*, prend en compte huit items relatifs à la sécurité, à la qualité de l'environnement, aux ressources financières, à l'accès à l'information et aux soins, aux loisirs, au logement et aux moyens de transport

Chacun de ces items est évalué sur une échelle en cinq points. Ainsi, le(s) score(s) relatif(s) à (aux) :

- *la perception générale de la qualité de vie* et *la satisfaction de l'état de santé* sont compris entre 1 et 5 points,
- *la santé physique* est compris entre 7 et 35 points,
- *la santé psychologique* est compris entre 6 et 30 points,
- *les relations sociales* est compris entre 3 et 15 points,
- *l'environnement* est compris entre 8 et 40 points.

Ces scores bruts sont ensuite transformés en scores compris entre 0 et 100, d'après la table présentée en Annexe 8, page 289. Plus le score est élevé et meilleure est la qualité de vie de l'individu. Des valeurs de référence à ce questionnaire sont disponibles pour la population des personnes âgées (Baumann et al., 2010).

VI.2.2.2 *Echelle d'auto-efficacité généralisée*

L'échelle de mesure de l'auto-efficacité utilisée dans cette thèse est l'adaptation française de l'échelle GSE (General Self-Efficacy scale, Schwarzer & Jerusalem, 1995) proposée par Dumont et collaborateurs (2000) et présentée en Annexe 9, page 290. Cette échelle a été créée dans le but de prédire la capacité à faire face i) aux petits tracas quotidiens et ii) à toute sorte de situations plus stressantes, et elle a été validée auprès de différentes populations issues de 25 pays du monde (Luszczynska, Scholz, & Schwarzer, 2005 ; Scholz, Doña, Sud, & Schwarzer, 2002). Cette échelle comporte dix items auxquels le participant doit répondre sur une échelle en quatre points, allant de « Pas du tout vrai » (1 point) à « Totalement vrai » (4 points). Elle donne lieu à un score total compris entre 10 et 40. Plus le score est élevé et meilleur est le sentiment d'auto-efficacité.

VI.2.2.3 *Questionnaire de l'autonomie psychologique*

Le questionnaire de l'autonomie psychologique utilisé dans cette thèse (présenté en Annexe 10, page 291) a été développé pour les personnes âgées et validé auprès de cette population (Dubé, Lamy, Lalande, Lapierre, & Alain, 1990). Ce questionnaire est composé de 28 items auxquels le participant doit attribuer une valeur comprise entre 1 (« Jamais ») et 5 (« Toujours »). La somme des réponses aux différents items donne lieu à un score total compris entre 28 et 140 ; et à cinq sous-scores relatifs au « contrôle décisionnel » (14 items), au « contrôle comportemental » (14 items) ; tous deux compris entre 14 et 70 ; à la « dynamique de l'individu » (12 items), aux « capacités » (12 items) ; tous deux compris entre 12 et 60, et à « l'intégration sociale » (4 items), compris entre 4 et 20. Le contrôle décisionnel et le contrôle comportemental renvoient aux dimensions de l'autonomie psychologique. Le premier fait référence à la volonté d'exercer son pouvoir de décider ou de ne pas décider et le second à la volonté d'exercer son pouvoir d'agir ou de ne pas agir. Ces deux dimensions de l'autonomie psychologique sont sous-tendues par trois facteurs : la dynamique de l'individu (regroupant la perception de soi (aspect cognitif), le ressenti intérieur (aspect émotif) et la motivation), ses capacités (physiques, cognitives et sociales) et l'intégration sociale de l'individu (Galarneau, 1999, page 17). Plus le score est élevé et meilleure est l'autonomie psychologique. Le détail de la compilation des différents items est présenté en Annexe 11, page 294.

VI.2.3 Analyse des données

La normalité des variables dépendantes a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. Afin de déterminer si les deux groupes expérimentaux pouvaient être réunis et pour rendre compte du changement ayant eu lieu à la suite de l'entraînement, une nouvelle

variable a été calculée, le score de changement, correspondant à la différence entre le score obtenu à T1 et le score obtenu à T0.

$$Score\ de\ changement = Score\ obtenu\ lors\ de\ l'évaluation\ T1 - Score\ obtenu\ lors\ de\ l'évaluation\ T0$$

Afin de répondre à notre premier objectif et du fait que la distribution des variables dépendantes issues des différents questionnaires suivait la loi normale, une analyse de variance à mesures répétées a pu être réalisée avec le facteur « interventions » à deux modalités (entraînement cognitif et activité contrôle) comme facteur inter-sujet et le facteur « temps » à deux modalités (T0 et T1) comme facteur intra-sujet. Cette ANOVA à mesures répétées a permis de déterminer si les deux interventions avaient eu le même effet sur les variables relatives au bien-être subjectif des participants. Le test LSD de Fisher et l'analyse des contrastes ont été utilisés pour réaliser les comparaisons post hoc. Puis, pour pouvoir répondre au second objectif, les variables dépendantes issues des différents questionnaires ont été comparées par une ANOVA à un facteur, avec le facteur « statut de calibration » à deux modalités (SE et SsE) pour la comparaison à T0, et à trois modalités (SE, SsE et estimateurs corrects) pour la comparaison à T1. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Statistica et le seuil de signification α était à 0,05.

VI.3 Résultats

VI.3.1 Effet des interventions sur le bien-être subjectif des conducteurs seniors

Certains participants n'ont pas répondu à la totalité du questionnaire WHOQOL-Bref (trois, quatre ou huit valeurs manquantes selon les questions), ni à la totalité du questionnaire de l'autonomie psychologique (six valeurs manquantes). Les scores relatifs au bien-être et à la qualité de vie des deux groupes expérimentaux (EC et EC + S) ont évolué de la même manière à la suite de l'entraînement (Tableau 24). Seuls deux scores de changement tendaient à être différents entre le groupe EC et le groupe EC + S. D'une part, le score relatif aux relations sociales issu du questionnaire WHOQOL-bref, avec le groupe EC + S qui avait tendance à être plus satisfait de ses relations sociales à la suite de l'entraînement que le groupe EC ($p = 0,07$). D'autre part, le score relatif au ressenti intérieur, qui est une composante de la dynamique individuelle issue du questionnaire de l'autonomie psychologique, avec plus grande amélioration du ressenti intérieur à la suite de l'entraînement pour le groupe EC par rapport au groupe EC + S (0,07). Par conséquent, du fait que cet effet du groupe ne soit pas significatif et ne concerne que deux variables dépendantes parmi toutes, le regroupement des deux groupes expérimentaux a été réalisé.

Tableau 24. Comparaison des scores de changement des groupes EC et EC + S

	EC Moy (E-T)	EC + S Moy (E-T)	p^a
WHOQOL-Bref			
Perception de la qualité de vie[1]	0,07 (0,52)	0,11 (0,58)	0,78
Satisfaction de l'état de santé[1]	0,12 (0,60)	-0,04 (0,81)	0,36
Santé physique[2]	0,63 (7,62)	-0,52 (5,76)	0,52
Santé psychologique[2]	-2,20 (8,07)	-0,56 (6,89)	0,40
Relations sociales[2]	0,14 (9,88)	6,04 (14,31)	0,06†
Environnement[2]	-0,97 (9,86)	0,26 (9,08)	0,62
Auto-efficacité[3]			
Score total	0,05 (3,59)	1,36 (4,14)	0,17
Autonomie psychologique[4]			
Score total	1,48 (6,46)	2,18 (5,45)	0,65
Contrôle décisionnel	0,85 (3,62)	1,22 (3,75)	0,69
Contrôle comportemental	0,63 (3,63)	0,96 (2,65)	0,69
Dynamique individuelle			
Perception de soi	-0,15 (1,80)	0,41 (1,21)	0,17
Ressenti intérieur	1,00 (1,74)	0,19 (1,72)	0,07†
Motivation	0,08 (1,48)	0,69 (1,83)	0,14
Capacités			
Capacités cognitives	-0,05 (1,74)	-0,04 (1,51)	0,97
Capacités physiques	-0,37 (1,98)	0,19 (1,60)	0,24
Capacités sociales	0,92 (2,12)	0,50 (1,82)	0,41
Intégration sociale	0,05 (1,75)	0,23 (1,37)	0,67

EC : Entraînement Cognitif. EC + S : Entraînement Cognitif + Simulateur. Moy : Moyenne. E-T : Ecart-Type. p : p-valeur. [a] = test de Mann-Whitney. † p < 0,10.
[1]Analyses effectuées sur 68 participants, 41 EC et 27 EC + S.
[2]Analyses effectuées sur 62 participants, 35 EC et 27 EC + S.
[3]Analyses effectuées sur 70 participants, 42 EC et 28 EC + S.
[4]Analyses effectuées sur 64 participants, 38 EC et 26 EC + S

A la suite du regroupement des deux groupes ayant réalisé l'entraînement cognitif, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée pour évaluer l'efficacité des interventions sur les variables relatives à la qualité de vie (Tableau 25).

Tableau 25. Comparaison des effets des interventions (entraînement cognitif ou activité contrôle) sur les indicateurs relatifs au bien-être subjectif

	GE		AC		p^a	p^a	p^b
	Moy (E-T)		Moy (E-T)		*Interventions*	*Temps*	*Interaction*
	T0	T1	T0	T1			
WHOQOL-Bref							
Perception de la qualité de vie[1]	4,16 (0,61)	4,26 (0,47)	4,18 (0,53)	4,41 (0,51)	0,56	0,02*	0,30
Satisfaction de l'état de santé[2]	4,04 (0,72)	4,07(0,67)	3,94 (0,66)	4,23 (0,75)	0,97	0,08†	0,12
Santé physique[3]	75,91 (10,30)	75,85 (9,54)	73,44 (14,41)	75,56 (10,66)	0,57	0,26	0,31
Santé psychologique[3]	75,12 (11,18)	73,08 (11,82)	73,55 (10,22)	73,28 (9,93)	0,76	0,42	0,58
Relations sociales[3]	71,79 (15,41)	74,33 (12,11)	60,72 (14,51)	63,22 (17,46)	<0,01*	0,13	0,95
Environnement[3]	80,06 (11,04)	79,56 (12,59)	78,89 (12,17)	77,89 (10,04)	0,52	0,57	0,82
Auto-efficacité[4]							
Score total	32,17 (4,44)	32,75 (3,96)	30,88 (4,15)	29,34 (5,02)	0,02*	0,37	0,05†
Autonomie psychologique[5]							
Score total	115,06 (8,69)	116,66 (10,19)	113,54 (10,27)	113,17 (12,87)	0,36	0,41	0,20
Contrôle décisionnel	57,33 (4,53)	58,24 (5,70)	56,78 (5,81)	56,83 (6,68)	0,52	0,28	0,34
Contrôle comportemental	57,72 (4,48)	58,42 (4,90)	56,76 (5,03)	56,33(6,58)	0,25	0,72	0,20
Dynamique individuelle							
Perception de soi	16,70 (1,59)	16,71 (1,77)	16,44 (2,06)	16,50 (2,41)	0,64	0,76	0,96
Ressenti intérieur	15,29 (1,68)	15,89 (1,76)	16,218 (1,67)	16,00 (1,68)	0,13	0,37	0,09†
Motivation	17,51 (1,59)	17,86 (1,70)	18,00 (1,71)	18,06 (2,10)	0,37	0,37	0,52
Capacités							
Capacités cognitives	16,31 (2,01)	16,32 (2,22)	15,17 (3,17)	15,33 (2,89)	0,07	0,79	0,64
Capacités physiques	17,06 (2,36)	16,82 (2,47)	17,56 (1,98)	17,11 (2,14)	0,47	0,22	0,53
Capacités sociales	15,38 (2,71)	16,12 (2,54)	13,94 (3,54)	13,72 (3,94)	0,01*	0,32	0,07†
Intégration sociale	16,79 (1,56)	16,93 (1,79)	16,22 (1,93)	16,44 (2,25)	0,22	0,43	0,83

GE : Groupe Expérimental regroupant les participants des groupes entraînement cognitif et entraînement cognitif + simulateur. Moy : Moyenne. E-T : Ecart-Type. p : p-valeur. [a] = ANOVA à mesures répétées, [b] = Résultats de l'interaction Temps x Interventions. † p < 0,10.

[1]Analyses effectuées sur 85 participants 68 GE et 17 AC. [2]Analyses effectuées sur 84 participants 68 GE + 16 AC. [3]Analyses effectuées sur 80 participants 66 GE et 14 AC. [4]Analyses effectuées sur 88 participants, 70 GE et 18 AC. [5]Analyses effectuées sur 82 participants 64 GE et 18 AC.

VI.3.1.1 *Questionnaire WHOQOL-Bref*

Aucun effet d'interaction Temps x Interventions n'a été révélé, indiquant que les deux interventions semblent avoir eu la même efficacité sur les variables dépendantes de la WHOQOL (Tableau 25). Néanmois, un effet simple du temps a été mis en évidence, significatif sur la satisfaction de l'état de santé ($F (1, 83) = 5,24$; $p = 0,02$) et proche de la significativité sur la perception générale de la qualité de vie ($F (1, 82) = 3,08$; $p = 0,08$). Les participants des deux groupes (GE et AC) étaient significativement plus satisfaits de leur état de santé après les interventions qu'avant ($p = 0,04$) et ils tendaient à avoir une perception de leur qualité de vie légèrement plus élevée après les interventions qu'avant. Tous les participants ont amélioré leur ressenti vis-à-vis de leur état de santé et de leur qualité de vie à la suite des interventions. De plus, un effet simple des interventions sur l'évaluation de la qualité des relations sociales ($F (1, 78) = 10,70$; $p < 0,01$) a été montrée. Les participants du groupe expérimental ont évalué la qualité de leurs relations sociales significativement plus élevée que ne l'a fait le groupe AC ($p < 0,01$), aussi bien à T0 qu'à T1. En revanche, pour les autres variables de la WHOQOL, aucun effet simple du temps ni des interventions n'a été mis en évidence.

VI.3.1.2 *Echelle d'auto-efficacité généralisée*

Un effet d'interaction Temps x Interventions proche du seuil de significativité ($F(1, 86) = 3,93$; $p = 0,05$) a été montré (Tableau 25). Lors de l'évaluation finale (T1), les participants du groupe expérimental avaient un sentiment d'auto-efficacité significativement supérieur à celui des participants du groupe contrôle ($p < 0,01$). De plus, un effet simple significatif des interventions sur le score d'auto-efficacité ($F (1, 86) = 5,51$; $p = 0,02$) a été mis en évidence. Les participants du groupe expérimental avaient un sentiment d'auto-efficacité significativement plus élevé que les participants du groupe contrôle ($p = 0,02$) aussi bien à T0 qu'à T1.

VI.3.1.3 *Questionnaire de l'autonomie psychologique*

Aucun effet simple du temps, des interventions ni d'interaction Temps x Interactions sur le score total d'autonomie psychologique, ni sur les dimensions relatives au contrôle décisionnel et au contrôle comportemental, ni sur deux des trois composantes de la dynamique individuelle (*i.e.* la perception de soi, et la motivation) n'a été mis en évidence (Tableau 25). En revanche, pour la troisième composante de la dynamique individuelle, le ressenti intérieur, un effet d'interaction Temps x Interventions proche du seuil de signification ($F(1, 80) = 2,92$; $p = 0,09$) a été montré. Le groupe expérimental avait

significativement amélioré son ressenti intérieur à la suite des interventions ($p < 0,01$), ce qui n'était pas le cas du groupe contrôle ($p = 0,64$). En outre, en ce qui concerne les capacités, un effet simple des interventions sur les capacités sociales ($F(1, 80) = 6,37$; $p = 0,01$) a été montré. Les participants du groupe expérimental avaient des capacités sociales plus élevées que les participants du groupe contrôle, aussi bien à T0 qu'à T1. De plus, un effet d'interaction Temps x Interventions sur les capacités sociales proche du seuil de signification ($F(1, 80) = 3,41$; $p = 0,07$) a été mis en évidence. Le groupe expérimental avait significativement amélioré ses capacités sociales à la suite del'intervention ($p < 0,01$), ce qui n'était pas le cas du groupe contrôle ($p = 0,63$). En revanche, aucun effet d'intéraction Temps x Interventions n'a été démontré, sur les capacités cognitives, ni sur les capacités physiques, ni sur l'intégration sociale.

VI.3.2 Bien-être subjectif des participants en fonction du biais de calibration de la cognition

VI.3.2.1 *Avant les interventions*

Tous les participants n'ont pas complété la totalité des questionnaires avant les interventions : quatre n'ont pas répondu à l'ensemble des items du questionnaire WHOQOL-Bref et deux n'ont pas terminé le questionnaire de l'autonomie psychologique.

Questionnaire WHOQOL-Bref

Un simple effet significatif du statut de calibration sur les relations sociales des individus ($F(1, 82) = 5,90$; $p = 0,02$, Tableau 26) a été mis en évidence, avec un score supérieur pour les SsE par rapport aux SE, indiquant que les SsE étaient davantage satisfaits de leurs relations avec les personnes de leur entourage que les SE. En revanche, aucun effet du statut de calibration n'a été démontré sur la perception générale de la qualité de vie ($F(1, 85) = 0,275$; $p = 0,60$), ni sur la satisfaction de l'état de santé ($F(1, 85) = 0,002$; $p = 0,97$), ni sur la santé physique ($F(1, 82) = 2,02$; $p = 0,16$), ni sur la santé psychologique ($F(1\ 82) = 0,015$; $p = 0,90$), ni sur l'environnement ($F(1, 82) = 0,004$; $p = 0,95$).

Echelle d'auto-efficacité généralisée

Le statut de calibration de la cognition tendait à influencer le score d'auto-efficacité total ($F(1, 86) = 2,79$; $p = 0,098$, Tableau 26). Les SE avaient tendance à se sentir plus efficaces pour faire face aux situations difficiles et pour résoudre des problèmes que les SsE.

Questionnaire de l'autonomie psychologique

Un effet significatif du statut de calibration a été mis en évidence, sur le score d'autonomie psychologique total ($F(1, 84) = 6,45$; $p = 0,01$), sur les sous-scores relatifs au contrôle décisionnel ($F(1, 84) = 7,78$ $p < 0,01$) et au contrôle comportemental ($F(1, 84) = 4,26$; $p = 0,04$), ainsi que sur deux des trois composants de la dynamique individuelle (la perception de soi, $F(1, 84) = 4,77$: $p = 0,03$ et le ressenti intérieur, $F(1, 84) = 8,085$; $p < 0,01$, Tableau 26). Pour la motivation, une tendence a été observée ($F(1, 84) = 3,87$: $p = 0,05$). Pour toutes ces variables, les scores et sous-scores étaient supérieurs pour les SE par rapport aux SsE. En revanche, aucun effet du statut de calibration sur les capacités des participants (capacités cognitives, $F(1, 84) = 0,81$; $p = 0,37$; physiques, $F(1, 84) = 1,844$; $p = 0,18$; et sociales $F(1, 84) = 2,004$; $p = 0,16$) ni sur leur intégration sociale ($F (1, 84) = 0,76$; $p = 0,39$) n'a été montré.

En somme, les SE déclaraient avoir une meilleure autonomie psychologique que les SsE. Ils étaient plus enclins à décider (contrôle décisionnel) et à agir (contrôle comportemental) que les SsE. Les facteurs qui influençaient les décisions et les actions des SE étaient de l'ordre de la dynamique individuelle et reposaient sur la manière dont ces individus se perçoivaient (aspect cognitif), sur leur ressenti intérieur (leurs émotions) et sur leur motivation, leur volonté à entreprendre ces actions. En revanche, leurs décisions et leurs actions ne semblaient pas être influencées ni par leurs capacités, ni par leur intégration sociale.

Tableau 26. Bien-être subjectif des participants en fonction du statut de calibration avant les interventions

	SE Moyenne (E-T)	SsE Moyenne (E-T)	*p*[a]
WHOQOL-Bref			
Perception de la qualité de vie[1]	4,14 (0,71)	4,21 (0,41)	0,60
Satisfaction de l'état de santé[2]	4,02 (0,75)	4,03 (0,64)	0,97
Santé physique[3]	73,80 (11,83)	77,29 (10,35)	0,16
Santé psychologique[3]	74,65 (10,61)	74,95 (11,47)	0,90
Relations sociales[3]	65,72 (17,68)	73,89 (11,95)	0,02*
Environnement[3]	79,74 (12,26)	73,89 (9,99)	0,95
Auto-efficacité[4]			
Score total	32,58 (4,75)	31,02 (3,74)	0,09†
Autonomie psychologique[5]			
Score total	116,86 (8,64)	112,05 (8,83)	0,01*
Contrôle décisionnel	58,45 (4,52)	55,64 (4,73)	< 0,01*
Contrôle comportemental	58,41 (4,60)	56,39 (4,37)	0,04*
Dynamique individuelle			
Perception de soi	16,99 (1,64)	16,21 (1,66)	0,03*
Ressenti intérieur	15,93 (1,51)	14,92 (1,79)	< 0,01*
Motivation	17,92 (1,54)	17,24 (1,65)	0,05†
Capacités			
Capacités cognitives	16,27 (2,51)	15,82 (2,08)	0,37
Capacités physiques	17,46 (2,09)	16,79 (2,47)	0,18
Capacités sociales	15,48 (2,94)	14,58 (2,90)	0,16
Intégration sociale	16,81 (1,55)	16,50 (1,77)	0,38

SE : Sur-Estimateurs ; SsE : Sous-Estimateurs ; E-T : Ecart-Type.
*p = p-valeur. [a]Anova à un facteur. *p < 0,05. †p <0,10*
[1]Analyses effectuées sur 87 participants, 49 SE et 38 SsE.
[2]Analyses effectuées sur 86 participants, 49 SE et 37 SsE.
[3]Analyses effectuées sur 84 participants, 46 SE et 38 SsE.
[4]Analyses effectuées sur 88 participants, 50 SE et 38 SsE.
[5]Analyses effectuées sur 86 participants, 48 SE et 38 SsE.

VI.3.2.2 *Après les interventions*

Tous les participants n'ont pas complété la totalité des questionnaires après les interventions. Six participants n'ont pas répondu à l'ensemble des questions du questionnaire WHOQOL-Bref, et quatre participants n'ont pas complété le questionnaire de l'autonomie psychologique.

Questionnaire WHOQOL-Bref

Un effet significatif du statut de calibration sur l'environnement ($F(2, 81) = 4,098$; $p = 0,02$, Tableau 27) a été mis en évidence. Les estimateurs corrects se sentaient significativement mieux dans leur environnement que les SsE ($p = 0.04$) et avaient tendance à se sentir mieux que les SE ($p = 0.07$). En revanche, aucun effet du statut de calibration n'a été démontrén sur la perception générale de la qualité de vie ($F(2, 83) = 2,025$; $p = 0,14$), ni sur la satisfaction de l'état de santé ($F(2, 83) = 0,367$; $p = 0,69$), ni sur la santé physique ($F(2, 81) = 0,152$; $p = 0,86$), ni sur la santé psychologique ($F(2, 81) = 0,914$; $p = 0,40$), ni sur les relations sociales ($F(2, 81) = 0,067$; $p = 0,93$).

Echelle d'auto-efficacité généralisée

Aucun effet du statut de calibration de la cognition sur le score d'auto-efficacité total ($F(2, 85) = 1,772$; $p = 0,18$, Tableau 27) n'a été montré.

Questionnaire de l'autonomie psychologique

Un effet du statut de calibration proche de la signification a été mis en évidence sur le score d'autonomie psychologique total ($F(2, 81) = 2,74$; $p = 0,07$), ainsi que sur les dimensions relatives au contrôle décisionnel ($F(2, 81) = 2,84$; $p = 0,06$) et au contrôle comportemental ($F(2, 81) = 2,398$; $p < 0,01$, Tableau 27). Les estimateurs corrects et que les SE ont déclaré avoir une meilleure autonomie psychologique que les SsE. En outre, un effet significatif du statut de calibration sur le sous-score relatif aux capacités cognitives ($F(2, 81) = 4,67$; $p = 0,01$) a été montré. Les SsE ont déclaré réaliser moins d'activités stimulant leurs capacités cognitives que les estimateurs corrects ($p = 0.01$) et que les SE ($p = 0.02$). En revanche, aucun effet du statut de calibration n'a été montré sur les trois composants de la dynamique individuelle (la perception de soi, $F(2, 81) = 0,393$; $p = 0,68$; le ressenti intérieur, $F(2, 81) = 0,384$; $p = 0,68$; la motivation $F(2, 81) = 1,096$; $p = 0,34$), ni sur les capacités physiques ($F(2, 81) = 1,84$; $p = 0,16$), ou sociales ($F(2, 81) = 1,86$; $p = 0,16$) ni sur l'intégration sociale ($F(2, 81) = 1,59$; $p = 0,21$).

En somme, les participants ayant corrigé leur biais de calibration de la cognition étaient plus satisfaits de leur environnement (en termes de sécurité, de revenus, de loisirs, d'accès aux services de santé et de mobilité) que ceux qui ne l'avaient pas corrigé. De plus, ils avaient tendance à déclarer avoir une meilleure autonomie psychologique et réaliser plus d'activités stimulant leur cognition que les SsE.

Tableau 27. Bien-être subjectif des participants en fonction du statut de calibration après les interventions

	SE Moyenne (E-T)	Corrects Moyenne (E-T)	SsE Moyenne (E-T)	p^a
WHOQOL-Bref				
Perception de la qualité de vie[1]	4,21 (0,50)	4,40 (0,50)	4,17 (0,38)	0,14
Satisfaction de l'état de santé[1]	4,18 (0,67)	4,10 (0,71)	4,00 (0,69)	0,69
Santé physique[2]	76,57 (9,98)	75,23 (10,85)	75,76 (6,44)	0,86
Santé psychologique[2]	71,90 (9,52)	74,90 (12,05)	71,06 (12,65)	0,40
Relations sociales[2]	71,25 (15,40)	72,08 (14,08)	72,82 (12,51)	0,93
Environnement[2]	76,50 (12,61)	83,05 (11,40)	74,82 (10,36)	0,02*
Auto-efficacité[3]				
Score total	33,24 (4,55)	31,67 (4,47)	31,01 (3,68)	0,18
Autonomie psychologique[4]				
Score total	117,33 (11,18)	117,24 (10,48)	110,53 (9,86)	0,07†
Contrôle décisionnel	59,02 (5,75)	58,42 (6,01)	55,00 (5,30)	0,06†
Contrôle comportemental	58,31 (5,75)	58,81 (4,99)	55,53 (4,86)	0,09†
Dynamique individuelle				
Perception de soi	16,75 (1,96)	16,76 (1,85)	16,29 (2,02)	0,68
Ressenti intérieur	16,14 (1,79)	15,76 (1,71)	15,88 (1,73)	0,68
Motivation	18,14 (1,64)	17,97 (1,76)	17,35 (1,76)	0,34
Capacités				
Capacités cognitives	16,48 (2,37)	16,50 (2,39)	14,59 (1,91)	0,01*
Capacités physiques	16,93 (2,27)	17,26 (2,65)	15,94 (1,78)	0,16
Capacités sociales	15,97 (3,36)	15,89 (2,95)	14,35 (2,40)	0,16
Intégration sociale	16,93 (2,00)	17,08 (1,78)	16,12 (1,90)	0,21

SE : Sur-Estimateurs ; SsE : Sous-Estimateurs ; E-T : Ecart-Type
*p = p-valeur. [a]Anova à un facteur. *p < 0,05. †p <0,10*
[1]Analyses effectuées sur 86 participants, 28 SE, 18 SsE et 40 estimateurs corrects
[2]Analyses effectuées sur 84 participants, 28 SE, 17 SsE et 39 estimateurs corrects
[3]Analyses effectuées sur 88 participants, 29 SE, 18 SsE et 41 estimateurs corrects
[4]Analyses effectuées sur 84 participants, 29 SE, 17 SsE et 38 estimateurs corrects

VI.4 Discussion

VI.4.1 Effets des interventions sur le bien être subjectif des conducteurs seniors

L'objectif principal de ce quatrième focus était d'évaluer l'effet des interventions sur les variables relatives au bien-être subjectif des conducteurs seniors. Tous les participants (ceux du groupe expérimental et ceux du groupe contrôle) étaient globalement plus satisfaits de leur état de santé et de leur qualité de vie à la suite des interventions. Cependant, les participants du groupe contrôle ont autant amélioré leur qualité de vie que ceux du groupe expérimental. Une étude de 2006 avait montré une amélioration de la qualité de vie à la suite d'un entraînement cognitif ciblé sur la vitesse de traitement de l'information (Wolinsky, Unverzagt, Smith, Jones, Wright, et al., 2006). Dans cette étude, la qualité de vie était mesurée par l'échelle SF-36 (pour « Short Form-36 », Brazier et al., 1992) plus spécifique à l'état de santé, contrairement à la WHOQOL-Bref, plus générique. Contrairement à cette étude de 2006, où le groupe contrôle était passif, les participants du groupe contrôle de notre étude ont réalisé une activité de lecture et sont venus au laboratoire pour suivre les formations encadrées trois fois sur les trois mois qu'ont duré les interventions. Par conséquent, la venue au laboratoire et la participation à ces formations encadrées ont pu avoir un impact sur leur ressenti vis-à-vis de leur qualité de vie. En effet, le contenu de ces formations était orienté sur les effets du vieillissement sur la cognition, pouvant les réconforter quant à leur situation personnelle.

L'entraînement cognitif a favorisé l'amélioration du sentiment d'auto-efficacité, ce qui n'a pas été le cas de l'activité contrôle. Le sentiment d'auto-efficacité reflète le jugement qu'a l'individu de ses propres capacités pour pouvoir mener à bien une action ou faire face à des difficultés et influence ses choix et ses comportements (Bandura & Adams, 1977). Ainsi, ces résultats témoignent de l'amélioration de la croyance des participants du groupe expérimental en leurs capacités à mettre en place des actions pour exécuter une tâche ou des stratégies de *coping* pour faire face aux difficultés rencontrées. Grâce à l'entraînement cognitif, associé aux feedbacks sur la performance, les participants seront potentiellement plus à même de mettre en place des comportements dans le but de parvenir à atteindre les objectifs particuliers qu'ils se sont fixés (Bouffard-Bouchard, Parent, & Larivée, 1991).

Pour finir, concernant l'autonomie psychologique, l'entraînement cognitif a permis l'amélioration du ressenti intérieur et des capacités sociales des participants. Le ressenti intérieur tel qu'il est abordé dans ce questionnaire fait référence au rôle des émotions, des affects positifs et négatifs dans la prise de décision et les actions menées par l'individu (Dubé et al., 1990). Par conséquent, à la suite de l'entraînement cognitif, les participants

semblent davantage prendre en considération ce qu'ils ressentent lorsqu'ils agissent ou prennent des décisions. Ils apparaissent également plus enclins à réaliser des activités où ils vont pouvoir rencontrer de nouvelles personnes, se créer de nouvelles relations sociales. L'entraînement cognitif a eu un effet bénéfique sur la participation sociale ou du moins sur l'envie des participants de rencontrer de nouvelles personnes. Une des perspectives à long terme de ce travail serait d'observer si ces effets perdurent dans le temps et sont toujours présents quelques années après la fin de l'entraînement, comme l'ont montré Wolinsky et collaborateurs en 2006.

VI.4.2 Bien-être subjectif et calibration de la cognition

Le second objectif de ce focus était de comparer les niveaux de bien-être subjectifs ressentis par les seniors en fonction du biais de calibration de la cognition qu'ils présentaient, et ce, avant et après les interventions. Avant les interventions, les seniors qui surestimaient leurs capacités cognitives étaient moins satisfaits des relations avec leurs amis et entourage, contrairement à ceux qui sous-estimaient leurs capacités cognitives. En revanche, les SE avaient un sentiment d'auto-efficacité légèrement plus élevé que les SsE. Cette légère amélioration du sentiment d'auto-efficacité indique que les SE ont tendance à davantage croire en leurs capacités à organiser et réaliser les actions nécessaires pour mener à bien un projet ou pour faire face à des difficultés (Bandura & Adams, 1977). De plus, Bandura et Adams ont montré que le sentiment d'auto-efficacité était associé à l'intention de changer de comportement par l'individu. Ainsi, il serait interessant d'évaluer si les SE sont plus à même de changer de comportement que les SsE pour faire face à des situations difficiles. De plus, les SE ont déclaré avoir une meilleure autonomie psychologique et davantage contrôler leurs décisions et leurs actions que les SsE. Cette meilleure autonomie psychologique semble être davantage liée à la dynamique individuelle, c'est-à-dire à leur caractère, leurs émotions et leur volonté, plutôt qu'à leurs capacités. Cela suggère que les SE ont un sentiment de contrôle sur leur propre vie plus important que les SsE (Clark, 1988) et présentent également un désir des résultats à atteindre plus élevé et qu'ils mettront davantage de moyens en œuvre pour y parvenir (Deci & Ryan, 1987). Il serait intéressant d'étudier les traits de personnalité associés à la surestimation et à la sous-estimation des capacités cognitives, afin de compléter ces résultats.

Après les interventions, 41 participants sur 88 sont devenus des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives (25 étaient initialement des SsE et 16 étaient initialement des SE). Lors de l'évaluation finale, les estimateurs corrects ont déclaré être plus satisfaits de leur environnement que les SsE et les SE. En outre, bien que les analyses ne montrent pas de différence significative entre les groupes pour le sentiment d'auto-

efficacité, la comparaison des scores entre T1 et T0 pour les participants devenus des estimateurs corrects a été réalisée, afin de vérifier s'ils avaient un sentiment d'auto-efficacité plus élevé après les interventions, qui aurait pu refléter leur plus forte intention de changer de comportement. Cette analyse complémentaire ne montre pas de différence significative entre les deux évaluations. Enfin, concernant l'autonomie psychologique, les résultats montrent que les estimateurs corrects et les SE déclarent réaliser davantage d'activités stimulant leur cognition que les SsE. Plus précisément, ils déclarent pratiquer davantage d'activité stimulant leur forme intellectuelle, leur mémoire dans le but d'apprendre de nouvelles choses et de les garder alertes intellectuellement. Par conséquent, les interventions semblent avoir sensibilisé certains seniors à la pratique d'une activité stimulant leurs capacités cognitives et aux bienfaits de ce genre de pratique. Pour les estimateurs corrects, la prise de conscience de leurs propres capacités cognitives a pu les sensibiliser aux bénéfices d'une telle pratique ou alors, a provoqué un certain plaisir à pratiquer ce genre d'exercice. En revanche, pour les SE, il est possible que la participation à l'étude ait déclenché une sorte de défi, du fait qu'ils se croient supérieurs aux autres, ils ont pu avoir envie de se lancer un défi personnel pour se tester. Afin d'éclaircir ce point, il serait intéressant d'étudier le ressenti des participants vis-à-vis de leur participation à l'étude grâce à un questionnaire où à des entretiens semi-directifs, afin d'identifier les leviers sur lesquels nous avons pu agir et ceux qu'il reste encore à actionner.

PARTIE EXPERIMENTALE 2

I. Introduction générale

I.1 Rappels du contexte scientifique

L'utilisation du simulateur de conduite dans le cadre de la recherche sur la conduite présente de nombreux avantages dont notamment la réalisation d'expérimentation dans des conditions standardisées et en toute sécurité. Néanmoins, certains participants souffrent du MS et sont contraints d'arrêter l'expérimentation. Différentes méthodes ont été testées pour réduire le MS mais les résultats des études réalisées sont parfois contradictoires et aucune méthode consensuelle n'a été trouvée. Parmi les contremesures testées se trouvent : i) les bracelets d'acupressure ayant une efficacité limitée (Cox et al., 2011; Miller & Muth, 2004; Wesley et al., 2005), ii) les médicaments étant efficaces pour réduire les symptômes mais ayant des effets secondaires parfois délétères (Burke, 1995; Dahl et al., 1984; Nachum et al., 2012), et enfin les stimulations galvaniques vestibulaire (SGV) ou cutanée (SGC) qui semblent plus prometteuses. La SGC pourrait être une méthode plus adaptée pour réduire le MS que la SGV, qui, bien que réduisant les symptômes du MS, provoquait des réponses oculaires réflexes involontaires (Reed-Jones et al., 2009) et nécessitait l'asservissement du dispositif de stimulation au simulateur pour permettre l'envoi des stimulations dans les virages. Peu d'études ont évalué l'efficacité de la SGC, et à notre connaissance, aucune auprès des conducteurs âgés.

I.2 Objectif et hypothèses

Deux études ont été réalisées dans le but d'évaluer l'efficacité de la SGC de la nuque pour réduire le MS chez des conducteurs jeunes d'une part (Etude 1), et des conducteurs âgés d'autre part (Etude 2).

II. Méthodologie générale

II.1 Participants

Quinze conducteurs âgés de 25,5 ans en moyenne ont été recrutés pour participer à l'Etude 1 et vingt-trois conducteurs âgés de 69,4 ans en moyenne ont été recrutés pour participer à l'Etude 2. Ces participants âgés ne faisaient pas partie de la cohorte de conducteurs SAFE MOVE.

Pour être inclus dans ces études les participants devaient : i) avoir conduit au moins 3000 kms au cours de l'année précédente, ii) ne pas porter de pacemaker ni de prothèse

auditive, iii) ne pas souffrir de vertiges vestibulaires ni de maladie touchant l'oreille interne, et iv) ne devaient avoir pris de traitements médicamenteux qui auraient pu altérer leurs performances de conduite dans les trois jours précédents l'expérimentation, tels que des hypnotiques, des anxiolytiques, des neuroleptiques, des antidépresseurs, des analgésiques, des antihistaminiques, ou des myorelaxants. Tous les participants avaient une vue normale (corrigée ou non). Ils n'étaient pas informés du but de l'expérimentation et n'avaient jamais conduit de simulateur de conduite auparavant. Cette expérimentation a été approuvée par le comité d'éthique régional.

II.2 Procédure

Afin de se familiariser avec la conduite sur le simulateur, chaque participant commençait par conduire sur un parcours simple, pendant quelques minutes. Après l'installation des électrodes de stimulation, le participant conduisait trois fois le simulateur dans le même environnement urbain, dans trois conditions différentes : i) une condition contrôle où aucune stimulation n'était délivrée, ii) une condition expérimentale où la stimulation était délivrée uniquement dans les virages, et iii) une autre condition expérimentale où la stimulation était délivrée de manière intermittente tout au long du parcours. Il s'agit d'un plan à mesures répétées où tous les participants ont réalisé l'ensemble des conditions expérimentales. L'ordre de passation de ces trois conditions a été contrebalancé entre les groupes de participants. Après chaque condition, le participant sortait du véhicule et complétait le questionnaire relatif au mal du simulateur (Kennedy et al., 1993) afin de reporter la sévérité des symptômes ressentis.

III. Etude 1

Cette étude a donné lieu à une publication dans la revue Human Factors (voir III.2, page 182) :

Gálvez-García, G., Hay, M., & Gabaude, C. (2015). Alleviating simulator sickness with galvanic cutaneous stimulation. Human Factors, 57(4), 649–657.

III.1 Synthèse des résultats

Les résultats de cette étude indiquent que la SGC a permis de réduire significativement le MS des participants jeunes, qu'elle soit délivrée dans les virages ou de manière intermittente tout au long du parcours. Ainsi, la SGC apparait être une méthode efficace pour limiter les symptômes du MS des conducteurs jeunes et pourrait être utilisée dans de futures expérimentations réalisées sur simulateur de conduite. De plus, le fait que

la SGC permette de réduire le mal lorsqu'elle est délivrée de manière intermittente tout au long du parcours facilite son utilisation lors d'expérimentation car elle ne nécessite pas de synchronisation entre le dispositif de stimulation et le simulateur, contrairement à la condition où la SGC est délivrée uniquement dans les virages.

III.2 Article publié dans la revue *Human Factors*

Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society
http://hfs.sagepub.com/

Alleviating Simulator Sickness with Galvanic Cutaneous Stimulation

Germán Gálvez-García, Marion Hay and Catherine Gabaude

Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society published online 13 October 2014
DOI: 10.1177/0018720814554948

The online version of this article can be found at:
http://hfs.sagepub.com/content/early/2014/10/21/0018720814554948

Published by:
SAGE
http://www.sagepublications.com

On behalf of:
Human Factors and Ergonomics Society

Additional services and information for *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* can be found at:

Email Alerts: http://hfs.sagepub.com/cgi/alerts

Subscriptions: http://hfs.sagepub.com/subscriptions

Reprints: http://www.sagepub.com/journalsReprints.nav

Permissions: http://www.sagepub.com/journalsPermissions.nav

>> OnlineFirst Version of Record - Oct 21, 2014

OnlineFirst Version of Record - Oct 13, 2014

Downloaded from hfs.sagepub.com at INRETS on October 21, 2014
What is This?

Alleviating Simulator Sickness with Galvanic Cutaneous Stimulation

Germán Gálvez-García, Université de Lyon IFSTTAR-LESCOT F-69675, Bron, France, and University of Padova, Padova, Italy, **Marion Hay**, Université de Lyon IFSTTAR-LESCOT F-69675, Bron, France, and INSERM U1075 COMETE, Caen, France, and **Catherine Gabaude**, Université de Lyon IFSTTAR-LESCOT F-69675, Bron, France

Objective: In a driving simulation, we investigated the efficacy of galvanic cutaneous stimulation (GCS) provided during curves or intermittently during the whole circuit to mitigate simulator syndrome (SS).

Background: The literature on how GCS decreases SS, although scarce, has demonstrated the effectiveness of this technique. Stimulation with this and similar techniques has usually been provided in curves or continuously during the whole circuit but never intermittently. This stimulation method could generate a continued activation of processes related to GCS mitigating SS.

Method: Fifteen drivers (8 men; mean age = 25.5 years) participated in this experiment. We compared the total scores of the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) across three stimulation conditions: (a) curve GCS condition, whereby GCS was provided in curves; (b) intermittent GCS condition, whereby GCS was provided intermittently during the whole circuit; and (c) no-stimulation condition, whereby no stimulation was provided (baseline condition).

Results: The experimental outcomes revealed that GCS decreased SS in both the curve and intermittent stimulation conditions.

Conclusion: We provide evidence that GCS is an effective countermeasure to decrease SS. It could be applied indifferently in curves or intermittently during the whole circuit.

Application: For future interventions, we recommend the use of GCS to mitigate SS with similar intermittent stimulation programs. These programs have a crucial advantage as they are easily integrated into the simulator setup without the necessity of generating a complicated experimental design to stimulate during the curves.

Keywords: motion sickness, simulator sickness, driving task, cognition disorder, Simulator Sickness Questionnaire.

Address correspondence to Germán Gálvez-García, Computational Cognitive Neuroscience Lab, Department of General Psychology, Via Venezia, 12. 35131 Padova, Italy; e-mail: germangalvezgarcia@gmail.com.

HUMAN FACTORS
Vol. 57, No. 4, June 2015, pp. 649–657
DOI: 10.1177/0018720814554948
Copyright © 2014, Human Factors and Ergonomics Society.

INTRODUCTION

Some drivers experience simulator sickness (SS), a condition in which symptoms similar to motion sickness (MS) are exhibited when driving in a simulator (nausea, disorientation, dizziness, headache, and difficulty focusing). This syndrome is a critical issue for the use of a simulator because it leads to population biases and data loss (Stanney, Mourant, & Kennedy, 1998). The literature on this topic has mainly addressed two issues: the nature and causes of SS and the study of countermeasures to mitigate SS.

The etiology of SS is not completely understood, as it involves different interactions between sensorial, perceptual, cognitive, and motor processes (Riccio & Stoffregen, 1991; Stanney et al., 1998). This not well-known etiology has generated several theories attempting to explain this syndrome and, more generally, MS (see Kennedy & Frank, 1986; Mollenhauer, 2004; and Reed-Jones, 2011, for an extensive review of SS). The aim of this research is not to address these theories but rather to study how it is possible to decrease SS.

For example, galvanic vestibular stimulation (GVS) has been tested as an effective tool for decreasing SS. GVS involves placing the electrodes over the mastoid process, which stimulates the eighth cranial nerve (Bent, McFadyen, Merkley, Kennedy, & Inglis, 2000; Reed-Jones, Vallis, Reed-Jones, & Trick, 2008). Reed-Jones, Reed-Jones, Trick, and Vallis (2007) and Reed-Jones, Reed-Jones, Trick, Toxopeus, and Vallis (2009) applied GVS during curves in fixed-simulator experiments. They found that GVS reduces SS and produces lower vehicular velocities.

Other electrical techniques that have been shown to decrease SS include galvanic cutaneous stimulation (GCS), which will be the focus of this research. GCS entails stimulating superficial cutaneous nerve fibers with a large diameter using

an electric current with a relatively short-pulse duration and intensity below the motor threshold. Usually GCS is applied on the neck muscles (mainly the sternocleidomastoids), approximately 3 to 4 cm below the mastoid process (Reed-Jones et al., 2008). GCS impacts cardiovascular autonomic responses (Chu, Li, Juan, & Chiou, 2012; Sanderson et al., 1995), enhances visuospatial abilities and cognitive function (van Dijk, Scherder, Scheltens, & Sergeant, 2002), and more importantly, alleviates SS (Chu et al., 2012). Two studies have assessed the impact of GCS on SS. First, Chu, Li, Huang, and Lee (2013) showed how GCS mitigates SS and improves cognitive processing, such as attention, and performance. Second, Reed-Jones et al. (2009) failed to find a significant effect when comparing GVS, GCS, and no-stimulation groups, although they found an interesting trend toward a lower Simulator Sickness Questionnaire (SSQ; Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, 1993) total score (TS) when GCS was provided. However, vehicular speeds during curves were better negotiated with GVS. They concluded that GCS could be a better technique to reduce SS, whereas GVS could be a better choice in more naturalistic driving tasks.

The first aim of this research is to investigate the advantages of GCS in mitigating SS and to add to the scarce literature demonstrating GCS as an effective countermeasure against SS. The second aim of this research is to provide an alternative to stimulation during curves (e.g., Reed-Jones et al., 2009). Stimulation during curves presents a crucial advantage, as maneuvering curves in the simulator is when the conflict between perception of static and dynamic situations is highest (Kemeny & Panerai, 2003). Nevertheless, experiments in which stimulation is applied during curves demand a difficult setup and a program to synchronize when the stimulation is provided in the circuit. Here, we want to test whether an intermittent stimulation program during the whole circuit could mitigate SS. To test this idea, we will compare SS in three conditions of stimulation: GCS applied during the curves, GCS applied intermittently during the whole circuit, and finally, a base condition whereby no stimulation is provided. It should be noted that we will use similar total times of GCS in the curve and intermittent conditions to rule out this temporal difference as an explicative factor.

An additional aim of this research is to investigate how GCS impacts different driving performance variables to add to the scarce literature on this topic. Previously, Reed-Jones et al. (2009) failed to find a significant effect in driving performance when GCS was provided. We hypothesized that GCS will mitigate SS in curves in line with previous research (Reed-Jones et al., 2009). Moreover, we also hypothesized a decrease in SS when the stimulation was delivered intermittently during the whole circuit.

METHOD

Participants

Prior to the experiment, possible participants were screened to determine if they had any predisposition to MS. They completed a French version of the Motion Sickness Susceptibility Questionnaire (MSSQ; Golding, 1998). For ethical reasons, we did not include in the experiment participants (only 1 participant) with MSSQ scores higher than 65 (percentile 75) because of the high susceptibility to sickness. The MSSQ mean score for our sample was 45.88 ± 10.52. The participants included 8 men and 7 women (mean age = 25.5 ± 3.2 years). We calculated this sample size using a statistical power analysis program (G*power) for one ANOVA of repeated measures (within factors) with a large effect size, setting statistical significance to $\alpha = .05$ and a power of .90. In addition, to be included in this study, volunteers should have driven at least 3,000 km the previous year, should not have a pacemaker or a hearing aid, should never have experienced vestibular vertigo, and finally, should not be taking medicines that affect driving. All participants reported normal or corrected-to-normal vision and normal tactile perception. Participants were instructed to refrain from the use of medication, alcoholic substances, and caffeinated drinks for 24 hr before the experiment. Participants were unaware of the purpose of the experiment, received €60 in return for their participation, and gave their signed informed consent. This study was performed in accordance with the ethical advisory internal committee of the research center (the French Institute of Science and Technology for Transport, Development, and Networks [IFSTTAR]).

Apparatus and Stimuli

GCS was delivered using a linear stimulus isolator device (STMISOL; Biopac, Goleta, CA). Stimulation was applied through electrodes (2.5 cm²) placed bilaterally on the neck on the top of the sternocleidomastoid muscles (Reed-Jones et al., 2008).

The study was carried out in an instrumented full-cab fixed-base simulator (Peugeot 308) with sensors on the pedals, wheels, and gearbox. The road scene was projected, in the front, on five screens (220 × 165 cm, 1,024 × 1,280 pixels) representing a 180° horizontal field of view (FOV) and a 40° vertical FOV. The simulator was also equipped with SIM2 virtual reality–based software, which relies on the ARCHISIM traffic model. SIM2 includes tools for creating various experimentation components (databases and files) needed to describe the environment and progress of experiments. A quadraphonic audio system reproduces the sounds related to the vehicle's instruments (engine, bearing, starter) and the noise outside. This simulator was built by the Laboratory for Road Operations, Perception, Simulators, and Simulations (LEPSIS-IFSTTAR). Driving performance data were captured at 60 Hz (temporal display resolution) from the original equipment. The simulator was also equipped with a CAN-bus system to send/receive information to/from the dashboard.

The virtual environment simulated driving a 7.5-km flat route through an urban environment. The simulated road represented a paved surface with a double lane each way and no median. Each lane was 3.6 m wide with a 2-m sidewalk on both sides. There were buildings (around 20 m high) around the whole circuit on both sides of the sidewalk. Participants negotiated 18 curves (nine lefts and nine rights). The turns consisted of either a gradual 90° turn or a sharp 90° turn. The gradual turns consisted of a 70-m lead-in, a 140-m-long curve, and a 70-m lead-out. The sharp turns were modelled on a *T* intersection and consisted of a 40-m lead-in with a 40-m-long curve immediately transitioning back into the next roadway. The straight sections of the circuit had a distance between 200 and 300 m. In addition, 40 road marks and 17 traffic signals indicating the direction to follow were presented.

Procedure

Participants performed a driving session to become familiar with the car at the beginning of the experiment. The duration of this urban virtual scenario was about 5 min. After this familiarization, the sternocleidomastoids were swabbed with alcohol to remove dead skin. Electromyography electrodes were applied 3 to 4 cm below the mastoid process, on the cutaneous skin over the sternocleidomastoid muscles. The anode electrode was placed in the right sternocleidomastoid and the cathode electrode in the left sternocleidomastoid. Current output was adjusted to each participant's threshold to the stimulus, assessed at a range of 0.6 to 1.25 mA following a similar procedure described by Reed-Jones et al. (2008, 2009). More concretely, threshold testing started at 0.05 mA and was increased in increments of 0.05 mA until the threshold was reached. Threshold determination was based on verbal reports of sense of movement and the investigator's visual observance of very small movement toward the anode electrode. If a particular stimulus level produced an unclear or unsure response, the experimenters increased the level by 0.05 mA and then reduced it again to help confirm the presence and severity of the disturbance. For each participant, the stimulation applied was adjusted to twice the determined threshold. Reed-Jones (2011) pointed out that this procedure provided a comfortable and suitable stimulation strength that produced an effect for GVS in line with previous research (Bent et al., 2000) and replicates the GCS procedure used by Reed-Jones et al. (2008).

The participants were asked to drive in the right lane, to not exceed 90 km/h, and to reduce their speed during curves in order to perform this maneuver efficiently. The participants drove through the simulation three times, corresponding to the three experimental conditions. These experimental conditions (counterbalanced between participants to compensate for any learned behavior) were the following: (a) no stimulation condition, whereby no stimulation was delivered (baseline condition); (b) curve GCS condition, whereby GCS was delivered from 40 m before the curve to the end of the curve; and (c) intermittent GCS condition, whereby GCS was

delivered following a program that provided stimulation intermittently in different parts of the circuit (either during curves or in straight sections of the road). This intermittent program was created by taking into account the use of similar total latencies of stimulation in the curve stimulation conditon in order to control for this factor as an alternative explanation to our pattern of data. We computed the time of stimulation for 5 participants in the curve condition during pilot testing. The mean time was 130 s of stimulation and 270 s of resting. Thus, in the intermittent stimulation condition, we applied these latencies of stimulation and resting divided into different temporal intervals assigned randomly per participant (range between 3 and 9 s for stimulation and between 15 and 21 s for resting).

It should be noted that the length of the circuit was 7.5 km, and the maximum velocity allowed was 90 km/h. This design means that if participants perform the circuit in less than 5 min, they do not receive the total 130 s of stimulation and the 270 s of rest time between them. Nevertheless, in the current study, all the participtans completed the circuit in all the conditions in more than 5 min (6.6 ± 1.3 min). Additionally, we analyzed the time of stimulation in both stimulated conditions to ensure that they had similar duration of total stimulation.

After each drive, participants exited the vehicle for a rest period of 5 min and completed their responses to the SSQ (Kennedy et al., 1993) whereby the severity of SS was measured. The questionnaire is composed of 16 symptoms that the participant has to rate on a scale from *none* (0) to *severe* (3). We analyzed the SSQ TS provided by the questionnaire in the three stimulation conditions.

Design

The different conditions for delivering the stimulation were manipulated as the independent variable (no-stimulation condition, curve GCS condition, and intermittent GCS condition). The SSQ TS revealed high variance across conditions in line with previous studies (Draper, Viirre, Furness, & Gawron, 2001; Moss & Muth, 2011; Sharples, Cobb, Moody, & Wilson, 2008). Thus, a square root transformation was performed to correct the heterogeneity of variance, using a method similar to Sharples et al. (2008) and Moss and Muth (2011). The resultant data were submitted to an ANOVA of repeated measures (within factor) and planned comparisons to compare the levels of SSQ TS under the different conditions of stimulation.

Driving performance variables were compared between the spatial intervals when participants received GCS in the curve and intermittent GCS conditions and the same spatial intervals in the no-stimulation condition. The driving performance variables measured were average speed, speed variability, steering variability, and lateral position variability. Speed variability was calculated through the standard deviation of speed (measured in km/h). Steering variability was calculated as the standard deviation of the angle of the steering wheel (measured in degrees). Finally, lateral position variability was calculated through the standard deviation of the lateral position of the vehicle with respect to the central axis of the road (measured in centimeters).

The data were submitted to a double analysis. The first assessed the driving performance variables in the curves of the curve stimulation condition versus the curves of the no-stimulation condition (comparison curve vs. neutral). The second compared the stimulated parts of the circuit in the intermittent stimulation condition versus the same segments of the circuit in the no-stimulation condition (comparison intermittent vs. neutral). A *t* test for related samples was performed for each driving variable per comparison. In order to decrease the overall probability of Type I errors, we included Bonferroni corrections of the significance level in each comparison. Thus, we declared a result to be significant when the *p* level is less than 0.05/4= 0.0125 (4 was the number of *t* tests per comparison). As pointed out in the procedure, we added an additional *t* test for related samples whereby we compared the total time of stimulation in curve and intermittent stimulation conditions to rule out this factor as a potential explanation for our results.

RESULTS

Table 1 shows the means and medians of SSQ TS (without a square root transformation) in the

TABLE 1: Simulator Sickness Levels by Stimulation Condition

Condition	Mean of SSQ TS	Median of SSQ TS	Number of Participants With SSQ TS Above 20	Number of Participants With SSQ TS Below 20
No stimulation	63	59	15	0
Curve GCS	31	30	10	5
Intermittent GCS	35	37	9	6

Note. SSQ = Simulator Sickness Questionnaire; TS = total score; GCS = galvanic cutaneous stimulation. Means and medians of SSQ TS are presented without a square root transformation. An SSQ TS of 20 is the threshold to determine whether participants are sick (Webb et al., 2009).

three conditions of stimulation. In addition, the number of sick participants under the three conditions of stimulation is presented. According to the criterion of Webb et al. (2009), SSQ scores greater than 20 (without a square root transformation) indicate that participants are sick. All the participants were sick under the no-stimulation condition, 10 participants were sick under the curve GCS condition, and 9 participants were sick under the intermittent GCS condition. These data will be considered in the discussion.

For SSQ TS (after a square root transformation; see Figure 1a), a significant effect for the experiment condition was found, $F(2, 28) = 11.3890$, $p = .0002$, $\eta^2 = .67$, with significantly higher scores in the no-stimulation condition (7.7) compared to the curve GCS condition (4.9; $p = .0009$) and intermittent GCS condition (5.5; $p = .0032$). There were no differences between curve GCS condition and intermittent GCS condition ($p = .2993$).

When comparing the duration of stimulation across curve (122 s) and intermittent GCS conditions (120 s), we did not obtain any differences in stimulation, $t(14) = 0.22$, $p = .8274$, $d = .08$. The data for driving performance are presented in Table 2. We did not find any differences in the curve versus no-stimulation conditions and the intermittent versus no-stimulation conditions regarding average speed, speed variability, steering variability, or lateral position variability (see Table 2).

DISCUSSION

This research had two aims. First, we wanted to test the efficacy of GCS as a countermeasure to decrease SS in line with previous research (Chu et al., 2013; Reed-Jones et al., 2009). Second, we wanted to ascertain whether intermittent stimulation during the whole circuit could mitigate SS due to continued activation of mitigation processes related to GCS. In addition, we wanted to investigate how GCS impacts different driving performance variables.

The results confirmed that GCS mitigates SS. The decrease of SSQ TS is in line with some previous research. For example, Chu et al. (2013) found significant differences in SSQ TS, whereas Reed-Jones et al. (2009) failed to find a significant effect when comparing GVS, GCS, and no-stimulation groups, although they found a trend toward lower SSQ TS with GCS. Nevertheless, this research demonstrates a mitigation of SS whereby SSQ TS was around 32% lower when GCS was applied. Importantly, this finding does not mean that the participants were not sick in the stimulated conditions. According to Webb et al. (2009), SSQ scores greater than 20 indicate sufficient discomfort (see Table 1), and in our experiment, SSQ TS was above 20 (without the square root transformation) for 10 participants in the curve GCS condition and for 9 in the intermittent GCS condition, whereas under the no-stimulation condition, the 15 participants reported SSQ TS above 20. This finding means that the total sample of participants presented SS symptoms when no stimulation was provided, and although GCS mitigated the SS symptoms, they did not disappear for a considerable percentage of the participants Nevertheless, it should be noted that in any case, a reduction in SSQ TS was found when GCS was applied.

Interestingly, we found that the SSQ TS was higher in our experiment than in previous work

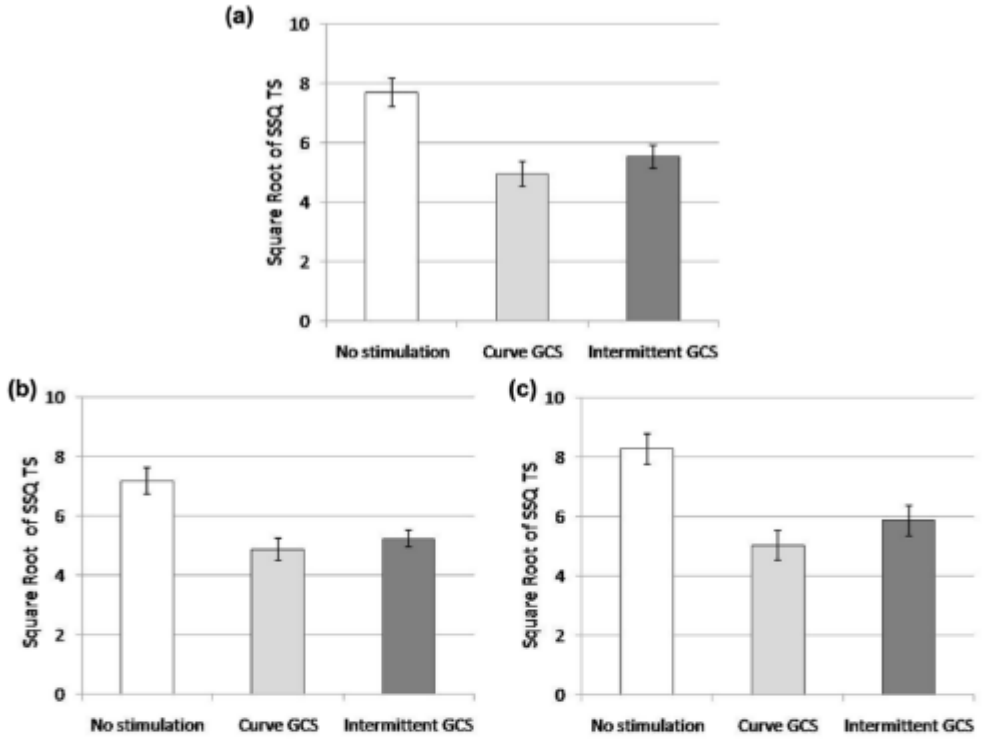


Figure 1. Means and standard errors of Simulator Sickness Questionnaire total score after a square root transformation in the three conditions of stimulation. The maximum possible score after a square root transformation is 15.35. Standard errors have been corrected for within-subject studies (Morey, 2008). (a) Total sample. (b) Male sample. (c) Female sample.

TABLE 2: Driving Performance Variables for Comparisons Between Conditions

	Average Speed (km/h)			Speed Variability (*SD*)			Steering Variability (*SD*)			Lateral Position Variability (*SD*)		
Comparison Between Stimulation Conditions	*t*(14)	*p*	*d*	*t*(14)	*p*	*d*	*t*(14)	*p*	*d*	*t*(14)	*p*	*d*
Curve vs. no stimulation	0.0442	.9653	0	0.8990	.3838	0	1,0243	.3230	0.23	0.8377	.4162	0.10
Intermittent vs. no stimulation	0.5023	.6232	0.13	0.7551	.4627	0.07	0.7773	.4498	0.10	0.2725	.7892	0

with GCS (e.g., Reed-Jones et al., 2009). A possible factor influencing our high SSQ TS could be that participants were driving an urban circuit. Drivers usually present higher SS symptoms in urban rather than in rural circuits due to the number of curves (Edwards, Creaser, Caird, Lamsdale,

& Chisholm, 2003; Mourant, Rengarajan, Cox, Lin, & Jaeger, 2007; Park, Allen, & Fiorentino, 2006) and the presentation of more objects in peripheral view (Chrysler & Williams, 2005). One other point that could explain our high SSQ TS is the speed. Mourant and Thattacherry (2000) found that drivers experienced higher SS when they drove at 96 km/h than when they drove at 40 km/h. This result indicates that higher speed leads to higher SS. In our experiment, the participants were asked not to exceed 90 km/h, (although the participants were requested to reduce their speed during curves), driving at a mean of 65.12 km/h across conditions. Thus, this speed could be considered as a high speed for an urban circuit and could have had an impact on the SS symptoms.

It should be noted that there are no other variables in our experiment that affect SS symptoms. For example, some studies have shown that women are more prone to SS (e.g., Allen, Park, Cook, & Rosenthal, 2003; Freund & Green, 2006; Jaeger & Mourant, 2001; Rizzo, Sheffield, Stierman, & Dawson, 2003) but not all (e.g., Kolasinski & Gilson, 1998; Mourant et al., 2007). Our sample was almost equal regarding gender (8 men and 7 women), and thus this factor can be ruled out in explaining the high SS scores. Nevertheless, as seen in Figures 1b and 1c, there was a trend toward higher SSQ TS for women in the no-stimulation and intermittent GCS conditions (we did not perform inferential statistics because the sample was small). This finding could suggest that women could be more prone to SS in line with the aforementioned literature (e.g., Allen et al., 2003).

We found that SSQ TS in the curve and intermittent GCS conditions reduced SS. This finding corroborates our hypothesis that decreasing SS with an intermittent but continued activation during the whole circuit of the process could mitigate SS. These processes could be activated in curves, which is considered the maneuver that produced the greatest discomfort in a simulator, or intermittently but continuously during the whole circuit to reduce SS. However, even when GCS was provided randomly in the intermittent GCS condition, participants could have been stimulated fortuitously with a higher percentage during the curves. We have rejected this possibility, however, because participants received only 7.2% of the total GCS time during the curves in the intermittent condition; in other words, they received 92.8% of the total stimulation time during straight sections of the circuit.

The driving performance variables showed no difference between the no-stimulation condition and the curve GCS condition or intermittent GCS condition. This finding is in line with previous literature that did not show any significant differences in driving performance variables when GCS was applied (Reed-Jones et al., 2009). In any case, it is important to note that GCS did not adversely affect any driving variable; this is a fundamental point for the recommendation of GCS for future interventions reducing SS. Finally, we want to remark that although participants had lower SS, they drove no better. New studies must be done to explore this finding.

The current study has several limitations due to its novelty. We strongly believe that further research must be performed to replicate and generalize our results and conclusions across different populations, cohorts, scenarios, and simulators.

In conclusion, this research has provided evidence regarding the benefits of using GCS to mitigate SS without any negative effects on driving performance, and we thus recommend its use in future experiments. The beneficial effects of GCS should aid researchers when implementing best practice for their participants receiving simulator-based training. Future interventions involving this technique could apply GCS directly in curves or intermittently during the whole circuit. Nevertheless, intermittent GCS has an advantage in that it does not necessarily require synchronization between the stimulation and the simulator. In fact, the current GCS apparatus has different functions for selecting the interval program, so that it could be easily integrated into the setup of the simulator experiment. In addition, some of this apparatus is relatively inexpensive (some models cost less than $200), and the electrical administration is easy to deliver (the level of intensity can be directly selected in some models). Although contraindications to GCS are few and mostly hypothetical, it should be noted that researchers

should be cautious when providing GCS to some groups, such as those with epilepsy, people with pacemakers, and pregnant women. Additionally, it must not be applied internally (e.g., in the mouth) or over areas of broken or damaged skin (see chapter 5 of Johnson, 2014, for an extensive revision of the hazards and contraindications for the use of GCS).

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by two postdoctoral grants from the French Institute of Science and Technology for Transport, Development, and Networks and the Spanish Ministry of Education. Thanks to D. Ndiaye and S. Gauthier for the programming and analysis of the data. Thanks to M. Lavin, Matt Sassman, and F. Tornay for their insightful comments.

KEY POINTS

- Some drivers experience simulator syndrome (SS), a condition that may result in nausea, disorientation, dizziness, headache, and difficulty focusing when driving in a simulator. This syndrome is a critical issue in the use of simulators because it leads to population biases and data loss.
- Galvanic cutaneous stimulation has been tested as an effective countermeasure to mitigate SS, but due to the scarce literature, this study is essential for corroborating the effectiveness of the technique.
- Stimulation has usually been provided in curves, because it is considered the most likely maneuver for developing SS, or during the entire circuit. In this study, we have tested whether intermittent stimulation can provide the same benefit as direct stimulation in curves.
- We suggest the use of intermittent stimulation programs for future interventions as they have easy experimental setup and programming.

REFERENCES

Allen, R. W., Park, G., Cook, M., & Rosenthal, T. J. (2003). Novice driver training results and experience with a PC based simulator. In *Proceedings of the 2nd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 165–170). Iowa City: University of Iowa.

Bent, L. R., McFadyen, B. J., Merkley, V. F., Kennedy, P. M., & Inglis, J. T. (2000). Magnitude effects of galvanic vestibular stimulation on the trajectory of human gait. *Neuroscience Letters*, *279*, 157–160.

Chrysler, S. T., & Williams, A. A. (2005). Driving performance in a simulator as a function of pavement and shoulder width, edge line presence, and oncoming traffic. In *Proceedings of the 3rd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 370–375). Iowa City: University of Iowa.

Chu, H., Li, M. H., Huang, Y. C., & Lee, S. Y. (2013). Simultaneous transcutaneous electrical nerve stimulation mitigates simulator sickness symptoms in healthy adults: A crossover study. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, *13*, 84.

Chu, H., Li, M. H., Juan, S. H., & Chiou, W. Y. (2012). Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on motion sickness induced by rotary chair: A crossover study. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, *18*, 494–500.

Draper, M. H., Viirre, E. S., Furness, T. A., & Gawron, V. J. (2001). Effects of image scale and system time delay on simulator sickness within head-coupled virtual environments. *Human Factors*, *43*, 129–146.

Edwards, C. J., Creaser, J. I., Caird, J. K., Lamsdale, A. M., & Chisholm, S. L. (2003). Older and younger driver performance at complex intersections: Implications for using perception response time and driving simulation. In *Proceedings of the 2nd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 33–38). Iowa City: University of Iowa.

Freund, B., & Green, T. R. (2006). Simulator sickness amongst older drivers with and without dementia. *Advances in Transportation Studies* (Special issue), 71–74.

Golding, J. F. (1998). Motion Sickness Susceptibility Questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness. *Brain Research Bulletin*, *47*, 507–516.

Jaeger, B. K., & Mourant, R. R. (2001). Comparison of simulator sickness using static and dynamic walking simulators. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting* (pp. 1896–1900). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Johnson, M. I. (2014). *Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): Research to support clinical practice*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Kemeny, A., & Panerai, F. (2003). Evaluating perception in driving simulation experiments. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 31–37.

Kennedy, R. S., & Frank, L. H. (1986). Review of motion sickness with special reference to simulator sickness. *Transportation Research Record*, *1059*, 75–80.

Kennedy, R. S., Lane, N., Berbaum, K., & Lilienthal, M. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, *3*, 203–220.

Kolasinski, E. M., & Gilson, R. D. (1998). Simulator sickness and related findings in a virtual environment. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting* (pp. 1511–1515). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Mollenhauer, M. A. (2004). *Simulator adaptation syndrome literature review*. Royal Oak, MI: Realtime Technologies.

Morey, R. D. (2008). Confidence intervals from normalized data: A correction to Cousineau (2005). *Reason*, *4*, 61–64.

Moss, J. D., & Muth, E. R. (2011). Characteristics of head-mounted displays and their effects on simulator sickness. *Human Factors*, *53*, 308–319.

Mourant, R. R., Rengarajan, P., Cox, D., Lin, Y., & Jaeger, B. K. (2007). The effect of driving environments on simulator

sickness. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 51st Annual Meeting* (pp. 1232–1236). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Mourant, R. R., & Thattacherry, T. R. (2000). Simulator sickness in a virtual environments driving simulator. In *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress* (pp. 534–537). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Park, G. R., Allen, W., & Fiorentino, D. (2006). Simulator sickness scores according to symptom susceptibility, age, and gender for an older driver assessment study. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting* (pp. 2702–2706). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Reed-Jones, J. (2011). *Prediction and prevention of simulator sickness: An examination of individual differences, participant behaviours, and controlled interventions* (Unpublished doctoral dissertation). University of Guelph, Guelph, Canada.

Reed-Jones, J., Reed-Jones, R., Trick, L., Toxopeus, R., & Vallis, L. (2009). Comparing techniques to reduce simulator adaptation syndrome and improve naturalistic behaviour during simulated driving. In *Proceedings of the 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 276–283). Iowa City: University of Iowa.

Reed-Jones, R., Reed-Jones, J., Trick, L., & Vallis, L. (2007). Can vestibular stimulation reduce simulator adaptation syndrome? In *Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 534–540). Iowa City: University of Iowa.

Reed-Jones, R., Vallis, L., Reed-Jones, J., & Trick, L. (2008). The relationship between postural stability and virtual environment adaptation. *Neuroscience Letters*, *435*, 204–209.

Riccio, G., & Stoffregen, T. (1991). An ecological theory of motion sickness and postural instability. *Ecological Psychology*, *3*, 195–240.

Rizzo, M., Sheffield, R. A., Stierman, L., & Dawson, J. (2003). Demographic and driving performance factors in simulator adaptation syndrome. In *Proceedings of 2nd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design* (pp. 21–24). Iowa City: University of Iowa.

Sanderson, J. E., Tomlinson, B., Lau, M. S., So, K. W., Cheung, A. H., Critchley, J. A., & Woo, K. S. (1995). The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on autonomic cardiovascular reflexes. *Clinical Autonomic Research*, *5*, 81–84.

Sharples, S., Cobb, S., Moody, A., & Wilson, J. R. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*, *29*, 58–69.

Stanney, K., Mourant, R., & Kennedy, R. (1998). Human factors issues in virtual environments: A review of the literature. *Presence*, *7*, 327–351.

van Dijk, K. R. A., Scherder, E. J., Scheltens, P., & Sergeant, J. A. (2002). Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on non-pain related cognitive and behavioural functioning. *Reviews in the Neurosciences*, *13*, 257–270.

Webb, C. M., Bass, J. M., Johnson, D. M., Kelley, A. M., Martin, C. R., & Wildzunas, R. M. (2009). Simulator sickness in a helicopter flight training school. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *80*, 541–545.

Germán Gálvez-García is a researcher at the Laboratory of Ergonomics and Cognitive Sciences Applied to Transport (LESCOT), a part of the French Institute of Science and Technology for Transport, Development, and Networks (IFSTTAR). He received his PhD in experimental psychology and behavioural neurosciences from Granada University in 2009.

Marion Hay is a PhD student at Laboratory of Ergonomics and Cognitive Sciences Applied to Transport (LESCOT), a part of IFSTTAR, and at the Laboratory INSERM U1075 COMETE (Mobility: Orientation, Attention and Chronobiology). She received her master's degree in neuroscience from Rouen University in 2011.

Catherine Gabaude is a senior researcher at Laboratory of Ergonomics and Cognitive Sciences Applied to Transport (LESCOT), a part of IFSTTAR. She received her PhD in cognitive sciences from Lyon University in 2001.

Date received: March 7, 2014
Date accepted: September 16, 2014

IV. Etude 2

Cette étude n'a pas encore donné lieu à une publication. L'article est en cours de rédaction et une version sera prochainement soumise à la revue Applied Ergonomics.

IV.1 Synthèse et éléments d'interprétation des résultats

Les résultats de cette étude indiquent que la SGC n'a pas permis de réduire significativement le MS des conducteurs âgés de plus de 65 ans. A la différence des résultats obtenus auprès de participants jeunes, la SGC ne semble pas être une méthode à utiliser auprès de participants âgés sélectionnés dans cette étude pour réduire leur MS.

Plusieurs interprétations peuvent être formulées pour expliquer l'absence d'effet de la SGC dans cette étude. La première interprétation possible est la sensibilité réduite des participants âgés au MS, qui a pu rendre la stimulation inefficace. La seconde interprétation concerne le contrôle postural des individus. Des travaux ont suggéré que la diminution du MS chez les conducteurs jeunes était liée à une amélioration du contrôle postural par la SGC de la nuque (Gálvez-García, 2015 ; Reed-Jones et al., 2008). Or, en vieillissant, les seniors privilégient les informations visuelles aux informations vestibulaires et somesthésiques pour contrôler leur posture (Haibach, Slobounov, & Newell, 2009). Par conséquent, l'hypothèse émise est que les informations vestibulaires et somesthésiques reçues grâce à la SGC n'ont pas été suffisantes pour réduire le conflit sensoriel dû à la simulation. Une prochaine étude visant à identifier les effets de la SGC sur le contrôle postural des conducteurs jeunes et âgés permettrait de clarifier ce point. La troisième interprétation est liée à la modification du fonctionnement du système d'intégration multi-sensorielle avec l'âge. Du fait de la prédominance des informations visuelles, il est possible que les stimuli vestibulaires et proprioceptifs n'aient pas été suffisamment pris en compte par le système d'intégration multisensorielle pour permettre de réduire le MS. Par conséquent, une étude complémentaire visant à apprécier l'influence des différentes entrées sensorielles pourrait être réalisée. A cette fin, l'utilisation de la posturographie dynamique permettrait d'établir, en six épreuves consécutives, un pourcentage d'utilisation de chaque entrée sensorielle : somesthésique, visuelle, et vestibulaire et de préciser s'il existe une dépendance visuelle. Cette investigation réalisée en amont de l'utilisation du simulateur auprès des personnes âgées, permettrait par exemple, de mener une rééducation vestibulaire, afin de re-pondérer en quelques séances le vestibule et ainsi réparer le système d'intégration multi-sensorielle. Ainsi, le simulateur comme outil de réentraînement des capacités de conduite pourrait être utilisé par tous les conducteurs, sans risque de mal du simulateur.

IV.2 Article à soumettre dans la revue *Applied Ergonomics*

Galvanic cutaneous stimulation effect on simulator sickness in older drivers

Author 1 and corresponding author: Marion Hay

Affiliations

1 - Université de Lyon, F-69000, Lyon, France,

2 - IFSTTAR, TS2, LESCOT, F-69500 Bron,

3 - Normandie Univ, France,

4 - UNICAEN, COMETE, Caen, 14032, France,

5 - Inserm, U 1075 COMETE, Caen, 14032, France

Addresses

[1, 2]IFSTTAR-TS2-LESCOT, 25 avenue François Mitterrand, 69500 Bron, France

[3, 4, 5]U1075 COMETE UNICAEN/INSERM, PFRS - 2 rue des Rochambelles - 14032 CAEN Cedex 5, France

Mail: marion.hay@ifsttar.fr

Author 2: Marie-Laure Bocca [3, 4, 5],

Affiliations

3 - Normandie Univ, France,

4 - UNICAEN, COMETE, Caen, 14032, France,

5 - Inserm, U 1075 COMETE, Caen, 14032, France

Address: [3, 4, 5]U1075 COMETE UNICAEN/INSERM, PFRS - 2 rue des Rochambelles - 14032 CAEN Cedex 5, France

Mail: bocca-ml@phycog.org

Author 3: Catherine Gabaude

Affiliations

1 - Université de Lyon, F-69000, Lyon, France,

2 - IFSTTAR, TS2, LESCOT, F-69500 Bron,

Address: [1, 2]IFSTTAR-TS2-LESCOT, 25 avenue François Mitterrand, 69500 Bron, France

Mail : catherine.gabaude@ifsttar.fr

Acknowledgments: This research was supported by two doctoral grants from the French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR) and the Regional Council of Basse-Normandie. The authors would like to thank D. Ndiaye, F. Moreau, and S. Gauthier for the programming and the data analysis.

Abstract

Despite its usefulness in driving research, the driving simulator could cause Simulator Sickness (SS), which leads participants to stop the experiment. Galvanic Cutaneous Stimulation (GCS) effectively alleviates SS perceived by young drivers. This study investigated the effect of GCS on SS of older drivers, who are more susceptible to SS than younger drivers. Fifteen participants (65+) drove on a simulator for three different GCS conditions. Scores at the Simulator Sickness Questionnaire were compared between: the no stimulation condition (control), the curve stimulation condition (GCS delivered on curves), and the intermittent stimulation condition (GCS delivered intermittently throughout the circuit). Results showed that GCS, delivered on curves or intermittently, did not reduce SS of older drivers ($p = 0.14 – 0.79$). Contrary to findings on young drivers, GCS was ineffective in alleviating SS of older drivers. The use of the Motion Sickness Susceptibility Questionnaire part A as a screening tool to identify drivers susceptible to SS was also discussed.

Key words: simulator sickness, older drivers, driving simulator,

Introduction

The driving simulator is a very useful tool in driving research by allowing trials to be conducted in safe and controlled conditions. It is used in various fields of research, such as the evaluation of fitness to drive for people presenting a brain injury (Patomella, et al., 2006; Wald and Liu, 2001), the training of specific driving skills (e.g. Pollatsek et al., 2012; Romoser and Fisher, 2009), and assessment of the effects of drugs (Amato et al., 2013; Bocca et al., 2011). Despite their usefulness, simulators could lead to simulator sickness (SS), a syndrome similar to motion sickness which appears in the absence of true motion (Johnson, 2005). SS is polysymptomatic and characterized by general discomfort, nausea (increased salivation, sweating, stomach awareness), disorientation (dizziness, vertigo), and oculomotor disturbances (headache, eyestrain, difficulty focusing, blurred vision) (Kennedy et al, 2010; Kennedy and Fowlkes, 1992; Kennedy et al., 1993). A high percentage of people (80-95%) exposed to a virtual environment (driving or space engine simulator) for more than twenty minutes, experienced some of these symptoms associated with the SS (Kennedy and Fowlkes, 1992; Stanney et al., 1998).

The SS is influenced by the complexity of driving simulators (i.e. presence or absence of motion restitution). Indeed, it has been shown that SS was less frequent in high-fidelity driving simulators (“in-car” set-up) than in low-fidelity driving simulators (“out-of-car” set-up), (Burnett, 2007). Two types of high-fidelity driving simulators have been described: fixed or moving-base simulator. It has been hypothesised that in the fixed-base simulator, the absence of motion can be responsible for sickness, whereas in the moving-base simulator, it is the fact that the movement does not correspond exactly to the movement expected by the driver which leads to sickness (Kolasinski et al., 1995).

Although many theories have been advanced to explain SS (Reason and Brand, 1975; Treisman, 1977; Riccio and Stoffregen, 1991), the causes are incompletely understood, that’s why researches are mainly focused on methods to reduce it. Several methods have been tested, such as acupressure wristbands, pills, and galvanic stimulation. The studies using acupressure wristbands have led to conflicting results: some studies (Cox

et al., 2011; Stern et al., 2001; Wesley et al. 2005) showed a reduction of sickness symptoms, whereas other did not (Bruce et al., 1990; Miller and Muth, 2004). Motion sickness pills, such as scopolamine, meclizine or cinnazine, have been shown to reduce sickness symptoms. As these compounds have adverse effects, such as impaired short-term memory, alertness and vigilance, and can even cause delirium in older adults (Burke et al.,1995; Nachum et al., 2006 for scopolamine review), more effective methods to reduce SS have been researched. Two kinds of galvanic stimulation have been recently used during simulator driving tasks: the galvanic vestibular stimulation (GVS), and the galvanic cutaneous stimulation (GCS). The GVS was delivered when participants drove through curves on a simulated circuit, to provoke a vestibular perception of roll motion while driving (Fitzpatrick and Day, 2004). Reed-Jones and colleagues found that GVS reduced SS and improved the speed adaptation when young drivers negotiated curves (Reed-Jones et al., 2007). However, this method was not as promising while GVS was also found to increase the oculomotor discomfort by inducing involuntary reflexive eye responses (Reed-Jones et al., 2009). Another galvanic stimulation was thus developed, the GCS. When delivered either on curves (Gálvez-García, 2015; Reed-Jones et al., 2009) or intermittently throughout the whole circuit (Gálvez-García et al., 2015), GCS reduced SS of young drivers without adverse effects.

SS is an important issue because it causes participants drop out of experiment (Edwards et al., 2003; Rinalducci et al., 2003; Rizzo et al., 2003; Park et al., 2006; Stanney et al., 1998), and leads to experimental design more difficult to complete, requiring to include additional participants. This inconvenient is particularly important in studies with old drivers (Classen et al., 2011), where the dropout rate can reach 28.8% (versus 9% for young and middle-aged drivers, rate obtained from Brooks et al., 2010; Edwards et al., 2003; Park et al., 2006, Rinalducci et al., 2003). An effective method to reduce SS of older participants during simulated driving experiments is thus particularly required. In this context, the main objective of this study was to investigate the effects of GCS on older drivers' SS. To attest that GCS would not induce impairments in driving behaviour, the effects of the stimulation on various driving parameters were also assessed.

Method

Participants

In this study, which evaluated the effect of GCS on older drivers' SS, the sample size was estimated using a statistical power analysis program (G*power 3.1, Faul et al., 2007) for within-subject repeated measures analysis of variance (ANOVA). The effect size value was calculated from variance parameters obtained in a previous experiment conducted on young drivers (Gálvez-García et al., 2015). The probability of type I error was fixed at 0.05, and the power (1-β) was fixed at 0.9. This analysis resulted in a sample size of 18 participants, but, considering a dropout rate in old drivers of about 30% (due too severe SS), the total sample size was raised at 23 participants. To be included, participants aged 65 years or over, had to drive at least 3000 km a year and to have a Mini Mental State Examination (MMSE) score of 24/30 or more. This short test provides an objective measure of cognitive functioning and as it has normative values it is classically used to screen people to detect cognitive impairments (e.g. Tombaugh, et al., 1992; Jacqmin-Gadda et al., 1997). Participants had to have normal or corrected vision and not have a pacemaker or hearing aid or a history of vestibular vertigo. Finally, during the three days preceding the experiment,

participants were not allowed to take medicines that could interfere with driving, such as hypnotics, anxiolytics, neuroleptics, anaesthetics, antidepressants, analgesics, muscle relaxants, or antihistamines. This study was approved by the regional ethics committee (Eudract No. 2011-A00941640). Participants were unaware of the purpose of the experiment, and were novices for the simulated driving. All received a financial compensation in return for their participation, and gave their signed informed consent.

Questionnaires

The **Simulator Sickness Questionnaire** (SSQ, Kennedy et al., 1993) was used to measure the severity of simulator sickness. It comprised a list of 16 symptoms that the participant rated on a scale from none (0) to severe (3). Symptoms were grouped into three sub-scales: nausea, oculomotor discomfort, and disorientation; each one giving rise to three sub-scores. Nausea symptoms included general discomfort, nausea, stomach awareness, increasing salivation, burping, sweating, and difficulty concentrating. Oculomotor discomfort symptoms included general discomfort, fatigue headache, eyestrain, difficulty focusing, difficulty concentrating, and blurred vision. Finally, disorientation symptoms included difficulty focusing, nausea, fullness of head, blurred vision, dizzy (eyes open and closed), and vertigo. The three sub-scores were combined to give a total score (SSQ TS) (for more details, see Kennedy et al., 1993).

The **Motion Sickness Susceptibility Questionnaire (MSSQ)** collected information on participants' experiences of motion sickness while travelling by nine means of transport. It was used to assess the relationship between motion sickness susceptibility and SS severity. The questionnaire was divided into two sections: the first (MSSQ-A) related travel and motion sickness experiences as a child (before the age of 12), and the second (MSSQ-B) related travel and motion sickness experiences as an adult (over the last 10 years). Two sub-scores (MSSQ-A and B) were thereby calculated by taking into account the frequency of travel, the frequency of nausea, and the frequency of emesis (see Golding, 1998 for more details). Previous research on young adults has generally, but not always (Chu et al., 2013), indicated a positive correlation between a history of motion sickness and SS susceptibility (see Johnson, 2005 for review). An additional goal of our research was to study the relationship between these two indicators of sickness in older drivers.

Apparatus and Stimuli

GCS was delivered using a linear stimulus isolator device (STMISOL, Biopac, Goleta, CA), which produced a peak current output of 10 mA. Current output was adjusted to each participant's threshold to the stimulus, assessed over a range of 0.6 to 1.25 mA, following a procedure described by Gálvez-García et al., (2015). Stimulation was applied through large Compex Performance electrodes (5 * 5 cm) placed bilaterally on the neck on top of the sternocleidomastoid muscles (Reed-Jones et al., 2008).

The study was carried out in an instrumented full-cab fixed-base simulator (308 Peugeot). This simulator consisted of virtual reality-based visual and audio systems, a computer program for vehicle motion simulation, and a host computer system for the driving environment simulation. The road scene was projected in front, at 2.67m from the participant's eyes, on five screens (220 x 165 cm and 1024 x 1280 pixels), providing an approximate 180° horizontal and 40° vertical view of the virtual environment. Force feedback was provided through the steering wheel, and auditory feedback was delivered in the form of engine and outside noises. Driving performance parameters were captured at

60 Hz through sensors from the equipment (brake, accelerator and steering wheel). The simulator was also equipped with a CAN-bus system to send/receive information to/from the car.

The participant's task consisted in driving along a simulated 7.5-km urban road, on a double lane each way with a middle central line. Each lane was 3.6 m wide with a 2 m sidewalk on both sides. Buildings were present on both sides of the sidewalk. This urban road included 18 curves (9 to the right and 9 to the left), and the straight sections of the circuit were between 200 and 300 m in length. In addition, 40 road marks and 17 traffic signs indicating the direction to follow were presented.

Experimental procedure

Participants began the experiment with a 5 to 10-min driving on a rural road to familiarize themselves with the car and the virtual reality. Electrodes were then placed on the participant's neck and the stimulation threshold was determined (as mentioned above).

Participants were asked to drive in the right lane, not exceeding 90 km/h, and to follow road signs indicating a diversion. The participants drove this circuit three times, corresponding to the three experimental conditions. These experimental conditions were: i) no stimulation delivered (control condition), ii) curve stimulation, in which GCS was delivered from 40 m before the curve to the end of the curve, and iii) intermittent stimulation, in which GCS was delivered randomly in different parts of the circuit (on curves or on the straight portions of the road). During intermittent stimulation, participants were exposed to the same mean duration of stimulation as during curve stimulation (for more details, see Gálvez-García et al., 2015). An incomplete counterbalancing (Latin square) with three orders was used, in which each experimental condition appeared in each serial position once (eight participants for two orders and seven for the last one). After each driving test, the participants exited from the vehicle and completed the SSQ (Kennedy et al., 1993). They took a break from 10 to 15 minutes before completing the next driving condition and drove again only if they did not feel sickness symptoms any longer. They could stop their participation at any time if they felt too uncomfortable.

Various variables were collected to investigate the driving performance in each of the experimental conditions. The variables were the mean speed (in km/h), the standard deviation of steering wheel angle (SDSWA, in degrees); and the standard deviation in lane position (SDLP, in cm), which is one of the driving variables most frequently used to assess lane keeping behaviour (Boyle et al., 2008).

Statistical analysis

The SSQ scores have been often described as not following a normal distribution (e.g., Moss and Muth, 2011, Galvez-Garcia, et al., 2015). As our data confirmed previous observations, a square root transformation was performed according to the procedure used by these authors, to improve the normality. The transformed data were analysed with repeated measures ANOVA, with the experimental conditions as main effect (no, curve, or intermittent GCS stimulation). As this factor has three conditions, the modification of the degrees of freedom was performed using Greenhouse-Geisser adjustment (Greenhouse and Geisser, 1959) in order to correct violations of the sphericity assumption.

Two Student's t tests were performed to compare the driving performances between the no stimulation condition and i) the curve or ii) the intermittent stimulation conditions. As

the GCS in the intermittent condition occurred randomly in either straight road sections or curves, to compare the experimental conditions we proceeded as follows: i) segments of the circuit stimulated during curves were compared with the equivalent segments of the circuit with no stimulation, and ii) segments of the circuit stimulated intermittently were compared with the equivalent segments of the circuit with no stimulation. In order to decrease the overall probability of type I errors, we included Bonferroni corrections of the significance level in each comparison. Thus, a result was significant when the p-level was less than 0.05/2 = 0.025 (2 was the number of t-tests per comparison). An additional t-test was performed to compare the total time of curve stimulation to the total time of intermittent stimulation, to ensure that this factor is correctly controlled (as recommended by Gálvez-García et al., 2015).

A Pearson correlation test and a linear regression analysis were performed on transformed data to assess the relationship between motion sickness susceptibility (MSSQ scores) and SS severity (SSQ TS).All statistical analyses were carried out using Statistica® software. Statistical significance was attained at the $p < 0.05$ significance level, except for the abovementioned analysis.

Results

Among the twenty-three participants included (12 men and 11 women, aged 69.4 +/- 4.5 years), three had to stop the experiment because the SS was too severe when they drove on the simulator, and five did not present any SS symptoms during the no stimulation condition (SSQ TS = 0). As the experiment was designed to assess a countermeasure to reduce SS, these five older drivers were excluded from the following analysis. The effects of GCS on SS were thus analysed using data from fifteen participants aged 65 to 82 years (7 men and 8 women, aged 69.8 +/- 5.2 years), with five participants per order. No significant effect of the duration of stimulation between curve stimulation (159.8 seconds) and intermittent stimulation conditions (160.5 seconds) was found ($t(14) = 0.046$, $p = 0.96$).

Effects of stimulation conditions on SSQ scores

After the square-root transformation, repeated measures ANOVA were performed on the SSQ transformed scores and transformed sub-scores. The analyses did not revealed any effect of the experimental conditions on the SSQ TS ($F(2, 28) = 1.64$, $p = 0.21$), the SSQ Nausea sub-score ($F(2, 28) = 1.98$, $p = 0.16$), the SSQ Oculomotor disturbances sub-score ($F(2, 28) = 2.13$, $p = 0.14$), and the SSQ Disorientation sub-score ($F(2, 28) = 0.23$, $p = 0.79$; Table 1).

Table1: *Mean and standard error of SSQ TS and sub-scores in the three experimental conditions*

	SSQ TS	SSQ Nausea sub-score	SSQ Oculomotor disturbances sub-score	SSQ Disorientation sub-score
No stimulation	33 ± 9	25 ± 9	24 ± 7	40 ± 12
Curve stimulation	31 ± 7	24 ± 7	23 ± 5	38 ± 9
Intermittent stimulation	40 ± 8	31 ± 5	32 ± 6	46 ± 11

Effects of stimulation conditions on driving performance

For the driving performance variables (mean speed, SDSWA, and SDLP), the Student's t tests did not revealed any significant effect of the stimulation conditions (curve stimulation versus no stimulation, and intermittent stimulation versus no stimulation, Tabel 2).

***Table 2**. Comparisons of driving performance variables between curve stimulation and no stimulation (a), and between intermittent stimulation and no stimulation (b). SDSWA = standard deviation of steering wheel angle. SDLP = standard deviation of lane position.*

(a)

	Stimulated segments in curve stimulation	Equivalent segments in no stimulation	Statistical analysis (t-test)
Mean speed (km/h)	48.8 ± 6.6	49.1 ± 8.5	$t_{(14)}$ = 0.16; p = 0.87
SDSWA (°)	73.0 ± 9.8	72.5 ± 8.4	$t_{(14)}$ = 0.23; p = 0.82
SDLP (cm)	59.8 ± 12.4	57.5 ± 19.0	$t_{(14)}$ = 0.74; p = 0.47

(b)

	Stimulated segments in intermittent stimulation	Equivalent segments in no stimulation	Statistical analysis (t-test)
Mean speed (km/h)	61.0 ± 8.1	62.7 ± 9.3	$t_{(14)}$ = 0.63; p = 0.54
SDSWA (°)	28.7 ± 10.0	28.1 ± 8.7	$t_{(14)}$ = 0.62; p = 0.54
SDLP (cm)	34.4 ± 14.2	30.3 ± 11.8	$t_{(14)}$ = 2.11 ; p = 0.05

Correlation between MSSQ and SSQ TS

No significant correlation was found between the childhood motion sickness susceptibility score (MSSQ-A) and the adulthood motion sickness susceptibility score (MSSQ-B), (r = -0.08, p = 0.73). A significant positive correlation between the MSSQ-A score and the SSQ TS was found (r = 0.57, p < 0.01) but no correlation was found between the MSSQ-B score and the SSQ TS (r = -0.05, p = 0.83).

Discussion

The objective of this study was to assess the effectiveness of GCS in alleviating SS among older drivers. Our findings indicate that GCS did not reduce SS in older drivers, whether applied on curve or intermittently. The lack of effect of GCS on older drivers' SS in the present study contrasts with previous findings which revealed that GCS reduced SS of young drivers (Chu et al., 2013; Gálvez-García, 2015; Gálvez-García et al., 2015). However, our results are in agreement with those of Reed Jones (2009) that did not found

significant effect of the GCS in young subjects. Three hypotheses could explain the lack of GCS effects in the present study. The first hypothesis relates to the adaptation of postural control that may differ between young and old adults after GCS. Indeed, two studies showed that the GCS reduced SS of young drivers and improved their body and head postural control (Gálvez-García, 2015 and Reed-Jones et al., 2008, respectively). This effect has been explained by the fact that GCS increased the proprioceptive and vestibular information on head position (Pérennou et al., 2001; Reed-Jones et al., 2008; Reed-Jones et al., 2009) and reduced the multisensorial conflict. A possible explanation of our findings could be that GCS did not improve enough the proprioceptive and vestibular inputs, and thus the postural control of older adults. This lack of increase in vestibular and proprioceptive inputs may be due to a reduced sensitivity of the receptors, but also to the fact that postural control, in older adults, is more dependent of visual inputs rather than of inputs from vestibular or proprioceptive systems (Haibach et al., 2008). Further studies would be useful to resolve this issue by investigating in a same study the effects of the GCS on postural control in both young and older participants.

The second hypothesis is based on the changes in the multisensory integration system that occurs with age (Freiherr et al., 2013; Hairston et al., 2003). Consequently, we hypothesize that the lack of effect of the GCS applied in our drivers, may be linked to the lack of sufficient increase of the proprioceptive and vestibular inputs that need to be used by the MSI to reduce SS. In addition, our results showed that although not significant, the GCS delivered intermittently throughout the circuit slightly increased the SS the SSQ oculomotor sub-score by 33%. This increase in the oculomotor discomfort indicates a sensorial mismatch that can be linked to the temporally asynchrony between GCS stimulation and curve occurrence. Further reseach should be conducted to better understand the MSI of sensorial stimuli during simulated driving, with and without GCS.

Thirdly, the lack of GCS effects on older drivers' SS is probably related to their relatively low baseline SSQ scores (i.e. in the control condition). Although the baseline level of SSQ scores in the present study is in agreement with previous findings of Reed-Jones and colleagues (2009) and Chu and colleagues (2013), it is lower than the baseline SSQ scores found in Gálvez-García et al. (2015) that observed a strong effect of the GCS. We thus hypothesize that the baseline level of the SSQ scores in the control condition may have led to a floor effect. Indeed, only 8 out of the 15 older participants had a SSQ TS above 20 in that condition, which is the cut-off value that indicates a significant discomfort (Webb et al., 2009). Among the 8 participants with a SSQ TS above 20 in the control condition, the half showed a reduction from 30 to 50% of SS after GCS applied either on curves or intermittently and for the other half, the changes of SS were fluctuating (increase – decrease or no change depending on the condition). Hence, a study including older drivers with higher baseline SSQ TS than those of the present study would be useful to better understand whether GCS reduces SS in more sensitive participants that those that accepted to participate to that study.

Our study aimed to assess whether the GCS affected the driving performance. Our results showed that GCS delivered on curves or intermittently did not alter the driving performance, which confirmed previous findings in young drivers (Gálvez-García et al., 2015). It appears thus, that GCS whatever its effect on SS did not impair the driving behaviour.

The link between the motion sickness susceptibility and SS in older adults were also assessed in the present study. A significant positive correlation was found between the SS and the motion sickness susceptibility during childhood, but no correlation was found between the SS and the motion sickness susceptibility during adulthood. Our results revealed that these relationships are similar to those found in young participants (see Johnson, 2005 for review). Regarding the lack of correlation between the SS and the motion sickness susceptibility during adulthood, it may be explained by the age-related habituation to motion sickness (Golding, 2006), which leads to ceiling effects in the part B of the MSSQ. As the motion sickness susceptibility during childhood has been shown to significantly correlated to the SS in young participants (Johnson, 2005), the MSSQ-A can be used as a screening tool to identify both young and old drivers susceptible to SS.

Finally, objective assessment of SS could give useful information to attest the effectiveness of a method to reduce SS, in addition to the questionnaire (SSQ) commonly used. Hence, future research on SS alleviation should add objective measures such as the changes in skin conductance, heart rate, or skin temperature (Golding and Stott, 1997; Min et al., 2004).

Conclusion

This study aimed to assess the effectiveness of GCS in alleviating older drivers' SS. Our results showed that GCS delivered on curves was ineffective in reducing SS in older participants. This result is not in agreement with our previous findings obtained with younger drivers. This lack of GCS effect may be explained by the susceptibility of the participants to MS that was relatively low, or to the fact that the older participants probably used other sensory inputs than those expected by the GCS. Further studies should be interesting to conduct by assessing simultaneously the postural control of older drivers and the multisensory integration of the sensory stimuli during a simulated driving experiment to evaluate how the GCS acts on SS to resolve this issue.

References

1. Amato, J. N., Marie, S., Lelong-Boulouard, V., Paillet-Loilier, M., Berthelon, C., Coquerel, A., Denise, P., & Bocca, M. L. (2013). Effects of three therapeutic doses of codeine/paracetamol on driving performance, a psychomotor vigilance test, and subjective feelings. *Psychopharmacology*, 228(2), 309-320.
2. Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S. and Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review.*, 25(1), 45-65.
3. Bocca, M. L., Marie, S., Lelong-Boulouard, V., Bertran, F., Couque, C., Desfemmes, T., Berthelon, C., Amato, J. N. Moessinger, M., Paillet-Loilier, M., Coquerel, A., & Denise, P. (2011). Zolpidem and zopiclone impair similarly monotonous driving performance after a single nighttime intake in aged subjects. *Psychopharmacology*, 214(3), 699-706.
4. Boyle, L. N., Tippin, J., Paul, A., & Rizzo, M. (2008). Driver performance in the moments surrounding a microsleep. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 11(2), 126-136.
5. Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., et al.. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 788-796.
6. Bruce DG, Golding JF, Hockenhull N, Pethybridge RJ. (1990). Acupressure and motion sickness. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1990; 61:361–5.
7. Burke, M. (1995). Dizziness in the elderly: etiology and treatment. *The Nurse Practitioner*, 20(12), 31-35.
8. Burnett, G. E., Irune, A., &Mowforth, A. (2007). Driving simulator sickness and validity: how important is it to use real car cabins? *Advances in Transportation Studies*, Special Issue, 33-42.

9. Chu, H., Li, M. H., Huang, Y. C., & Lee, S. Y. (2013). Simultaneous transcutaneous electrical nerve stimulation mitigates simulator sickness symptoms in healthy adults: A crossover study. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13, 84.
10. Classen, S., Bewernitz, M., &Shechtman, O. (2011).Driving simulator sickness: an evidence-based review of the literature. *American Journal of Occupational Therapy*, 65, 179–188.
11. Cobb, S. V. G. (1999). Measurement of postural stability before and after immersion in a virtual environment. *Applied Ergonomics*, 30(1), 47-57.
12. Cox, D. J., Singh, H., & Cox, D. M. (2011). Effectiveness of acupressure and acustimulation in minimizing driving simulation adaptation syndrome. *Military Medicine*, 176(12), 1440-1443.
13. Edwards, C. J., Creaser, J. I., Caird, J. K., Lamsdale, A. M. & Chisholm, S. L. (2003, July). *Older and Younger Driver Performance at Complex Intersections: Implications for Using Perception-Response Time and Driving Simulation.* Paper presented at the Driving Assessment 2003: The Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Park City, Utah.
14. Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191.
15. Fitzpatrick, R., & Day, B. (2004). Probing the human vestibular system with galvanic vestibular stimulation. *Journal Applied Physiology, 96,* 2301-2316.
16. Freiherr, J., Lundström, J. N., Habel, U., & Reetz, K. (2013). Multisensory integration mechanisms during aging. *Frontiers in human neuroscience*, 7.
17. Gálvez-García, G. (2015). A comparison of techniques to mitigate Simulator Adaptation Syndrome. *Ergonomics*, (ahead-of-print), 1-8.
18. Gálvez-García, G., Hay, M., Gabaude, C. (2015) Alleviating the Simulator Sickness with Galvanic Cutaneous Stimulation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 57(4), 649-657.
19. Golding, J. F. (1998). Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness. *Brain Research Bulletin*, 47, 507–516.
20. Golding, J. F. (2006). Motion sickness susceptibility. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 129, 67-76.
21. Golding, J. F., & Stott, J. R. R. (1997). Comparison of the effects of a selective muscarinic receptor antagonist and hyoscine (scopolamine) on motion sickness, skin conductance and heart rate. *British journal of clinical pharmacology*, 43(6), 633-637.
22. Greenhouse, S. W., & Geisser, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika,* 24(2), 95-112.Haibach, P., Slobounov, S., & Newell, K. (2008). Egomotion and vection in young and elderly adults. *Gerontology*, 55(6), 637-643.
23. Hairston, W. D., Laurienti, P. J., Mishra, G., Burdette, J. H., & Wallace, M. T. (2003). Multisensory enhancement of localization under conditions of induced myopia. *Experimental brain research*, 152(3), 404-408.
24. Jacqmin-Gadda, H., Fabrigoule, C., Commenges, D., & Dartigues, J. F. (1997). A 5-year longitudinal study of the Mini-Mental State Examination in normal aging. *American Journal of Epidemiology*, 145(6), 498-506.
25. Johnson, D. M. (2005). Introduction to and Review of Simulator Sickness Research. Research Report 1832. U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
26. Kennedy, R. S., Drexler, J., & Kennedy, R. C. (2010). Research in visually induced motion sickness. *Applied ergonomics*, 41(4), 494-503.
27. Kennedy, R. S. & Fowlkes, J. E. (1992). Simulator Sickness is Polygenic and Polysymptomatic: Implications for Research. *The International Journal of Aviation Psychology*, 2(1), 23–38.
28. Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203–220.
29. Kolasinski, E. M., (1995). Simulator sickness in virtual environments (ARTI Technical Report 1027). Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
30. Miller, K. E., & Muth, E. R. (2004). Efficacy of acupressure and acustimulation bands for the prevention of motion sickness. *Aviation, space, and environmental medicine*, 75(3), 227-234.
31. Min, B. C., Chung, S. C., Min, Y. K., & Sakamoto, K. (2004). Psychophysiological evaluation of simulator sickness evoked by a graphic simulator. *Applied ergonomics*, 35(6), 549-556.
32. Morey, R. D. (2008). Confidence intervals from normalized data: A correction to Cousineau (2005). *Tutorial in Quantitative Methods for Psychology*, 4(2), 61-64.

33. Moss, J. D., & Muth, E. R. (2011). Characteristics of head-mounted displays and their effects on simulator sickness. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(3), 308-319.
34. Nachum, Z., Shupak, A., & Gordon, C. R. (2006). Transdermal scopolamine for prevention of motion sickness: Clinical Pharmacokinetics and Therapeutic Applications. *Clinical Pharmacokinetics*, 45(6), 543-566.
35. Park, G. D., Allen, R. W., Fiorentino, D., Rosenthal, T. J., & Cook, M. L. (2006, October). Simulator sickness scores according to symptom susceptibility, age, and gender for an older driver assessment study. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 50, No. 26, pp. 2702-2706). Sage Publications.
36. Patomella, A.-H., Tham, K., & Kottorp, A. (2006). P-drive: Assessment of driving performance after stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 38, 273–279.
37. Pérennou, D., Leblond, C., Amblard, B., Micallef, J., Herisson, C., & Pelissier, J. (2001) Transcutaneous electric nerve stimulation reduces neglect-related postural instability after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82, 440-448.
38. Pollatsek, A., Romoser, M. E., & Fisher, D. L. (2012). Identifying and remediating failures of selective attention in older drivers. *Current Directions In Psychological Science*, 21(1), 3-7.
39. Reed-Jones, J., Reed-Jones, R., Trick, L., Toxopeus, R., &Vallis, L., (2009, June). Comparing techniques to reduce simulator adaptation syndrome and improve naturalistic behaviour during simulated driving. In *Proceedings of the 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 276-283).
40. Reed-Jones, R., Reed-Jones, J., Trick, L., & Vallis, L. (2007, July). Can galvanic vestibular stimulation reduce simulator adaptation syndrome. In *Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 534-540).
41. Reed-Jones, R., Vallis, L., Reed-Jones, J., & Trick, L. (2008). The relationship between postural stability and virtual environment adaptation. *Neuroscience Letters*, 435, 204-209.
42. Rinalducci, E. J., Mouloua, M., & Smither, J. (2003). Cognitive and perceptual factors in aging and driving performance (Report No. BC096–07). Tallahassee, FL: Florida Department of Transportation.
43. Reason, J.T., Brand, J.J. (1975). Motion Sickness.Academic Press.
44. Reed-Jones, R. J., Reed-Jones, J. G., Trick, L. M., &Vallis, L. A. (2007). Can Galvanic Vestibular Stimulation Reduce Simulator Adaptation Syndrome? Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design Stevenson, Washington, 534-540.
45. Ricco, G., & Stoffregen, T. (1991). An ecological theory of motion sickness and postural instability. *Ecological Psychology*, 3(3), 195-240.
46. Rizzo, M., Sheffield, R. A., Stierman, L. & Dawson, J. (2003, July). *Demographic and Driving Performance Factors in Simulator Adaptation Syndrome*. Paper presented at the Driving Assessment 2003: The Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Park City, Utah.
47. Romoser, M. R. E. & Fisher, D. L. (2009). The Effect of Active Versus Passive Training Strategies on Improving Older Drivers' Scanning in Intersections. *Human Factors* 51(5), 652-668.
48. Sharples, S., Cobb, S., Moody, A., & Wilson, J. R. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*, 29, 58–69.
49. Stanney, K. M., Salvendy, G., Deisigner, J., DiZio, P., Ellis, S., Ellison, E., et al., (1998). Aftereffects and sense of presence in virtual environments: Formulation of a research and development agenda. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 10(2), 135-187.
50. Stern, R. M., Jokerst, M. D., Muth, E. R., & Hollis, C. (2001). Acupressure relieves the symptoms of motion sickness and reduces abnormal gastric activity. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 7(4), 91-94.
51. Treisman, M. (1977). Motion sickness: An evolutionary hypothesis. *Science*, 197(4302), 493-495.
52. Tombaugh, T. N., & McIntyre, N. J. (1992). The Mini-Mental State Examination: a comprehensive review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 40, 922-35.Wald, J., & Liu, L. (2001). Psychometric properties of the driVR: A virtual reality driving assessment. *Studies in Health Technology and Informatics*, 81, 564–566.
53. Webb, C. M., Bass, J. M., Johnson, D. M., Kelley, A. M., Martin, C. R., & Wildzunas, R. M. (2009). Simulator sickness in a helicopter flight training school. *Aviation, space, and environmental medicine*, 80, 541-545.

54. Wesley, A. D., Sayer, T. B. & Tengler, S. (2005, June). *Can Sea Bands® be Used to Mitigate Simulator Sickness?* Paper presented at the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Rockport, Maine US.
55. Wickremaratchi, M. M., & Llewelyn, J. G. (2006). Effects of ageing on touch. *Postgraduate medical journal*, 82(967), 301-304.

DISCUSSION GENERALE

Ce travail de thèse s'est articulé autour de deux axes principaux : i) l'utilisation d'un entraînement cognitif associé ou non à une immersion sur le simulateur de conduite pour permettre une amélioration des performances cognitives et un transfert des bénéfices de l'entraînement sur une activité plus complexe et dynamique, la conduite automobile ; et ii) l'évaluation d'une méthode, la stimulation galvanique de la nuque, pour limiter le mal du simulateur. Cette dernière partie vise à faire la synthèse des principaux résultats de ce travail de thèse et à formuler des recommandations pour l'orientation des futures recherches dans le domaine des formations à la conduite adressées aux conducteurs seniors.

I. Influence de l'entraînement cognitif sur les performances cognitives et de conduite des seniors

L'entraînement cognitif informatisé proposé dans cette étude, ciblant plusieurs sphères de la cognition (attention, mémoire, capacités visuo-spatiales et fonctions exécutives) a amélioré les performances au test de l'UFOV® des participants. Cet effet est global puisque les trois composantes de l'UFOV® ont progressé, c'est-à-dire la vitesse de traitement et les capacités d'attention visuelle divisée et sélective. Ces performances accrues reflètent l'amélioration des capacités à détecter et à réagir rapidement à l'apparition d'une cible dans le champ de vision, sans réaliser de mouvement des yeux ni de la tête, et des capacités de recherche visuelle et de désengagement attentionnel (Wood & Owsley, 2014). Ces résultats confirment que la vitesse de traitement et les capacités d'attention visuelle divisée et sélective peuvent être améliorées par un entraînement cognitif (Dobres et al., 2013 ; Edwards, Delahunt, et al., 2009 ; Roenker et al., 2003 ; Sorenson, 2012). Ces résultats sont encourageants dans une perspective de sécurité routière puisque les performances à l'UFOV® sont prédictives de l'implication dans les accidents et de la performance de conduite sur route (Clay et al., 2005 ; Mathias & Lucas, 2009). En effet, la diminution des performances au test de l'UFOV® est associée à un risque d'accident plus élevé (Ball et al., 1993 ; Owsley, Ball, Sloane, Roenker, & Bruni, 1991) et à des performances de conduite sur route dégradées (Whelihan, DiCarlo, & Paul, 2005). Il serait intéressant de vérifier, dans une prochaine étude, si l'amélioration des performances d'attention visuelle observée dans la situation de laboratoire telle qu'utilisée dans la présente étude à la suite de l'entraînement cognitif, est transférable lors d'une tâche dynamique et complexe, sollicitant particulièrement le champ visuel utile, telle que la conduite. Cette évaluation pourrait être réalisée, par exemple, sur simulateur de conduite, grâce au test du champ visuel utile, dont la double tâche consiste à réagir au freinage d'un véhicule devant nous tout en détectant des points dans le champ visuel périphérique (Rogé

& Pébayle, 2009). Cette évaluation pourrait également être menée sur route grâce à une tâche de détection périphérique qui consiste à détecter l'allumage de diodes électroluminescentes sur un écran situé en bas du pare-brise avant, lors d'une tâche de suivi de véhicule (Ranney, Harbluk, & Noy, 2005).

L'entraînement cognitif a également amélioré les performances de conduite sur route des conducteurs seniors, illustrées par une augmentation du score tactique à la TRIP, reflétant de meilleurs choix effectués par les conducteurs en termes de vitesse, de distance de sécurité et d'adaptation de leur comportement en fonctions des conditions de trafic et du type de route (De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2001). Les participants ayant réalisé l'entraînement cognitif ont également fait moins d'erreurs lors du parcours final que lors du parcours initial. L'amélioration de l'adaptation comportementale des conducteurs reflète probablement la mise en place de stratégies compensatoires au niveau opérationnel (telle que l'augmentation des distances de sécurité pour compenser une diminution de la vitesse de traitement de l'information). Ce résultat est particulièrement encourageant dans une perspective de sécurité routière puisqu'il a été précédemment mis en évidence que l'amélioration de l'adaptation à la TRIP était associée à une diminution du risque d'accidents en intersection (De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2001). Un suivi des conducteurs serait utile afin d'évaluer l'impact de ce type d'entraînement sur leurs comportements à risque ainsi que sur leurs habitudes de conduite grâce, par exemple, au Driving Behaviour Questionnaire (Reason, Manstead, Stradling, Baxter, & Campbell, 1990).

Les participants du groupe contrôle ont également légèrement amélioré leurs performances d'attention visuelle sélective évaluées par le test de l'UFOV® et leurs performances de conduite sur route (meilleure adaptation comportementale et moins d'erreurs commises lors du parcours final). Trois hypothèses peuvent être formulées pour expliquer ce résultat. La première concerne la nature de l'activité contrôle, qui était une activité de lecture réalisée sur ordinateur, afin que les participants du groupe contrôle utilisent le même matériel expérimental que les participants réalisant l'entraînement cognitif (Mahncke et al., 2006 ; Smith et al., 2009). L'amélioration des performances d'attention sélective est peut être due à une amélioration des performances cognitives, par l'activité de lecture qui est une activité associée aux capacités attentionnelles (Laasonen et al., 2012). En effet, l'engagement des individus dans des activités de stimulation mentale telles que celle de lecture, peut prévenir du déclin cognitif (Scarmeas et al., 2001 ; Wilson et al., 2002 ; Wilson et al., 2010 ; Wilson, Scherr, Schneider, Tang, & Bennett, 2007). La seconde hypothèse concerne un éventuel effet test-retest. Afin de le contrôler, l'inclusion d'un groupe contrôle passif ne réalisant que les évaluations initiale et finale pourrait être envisagée. Les données seraient analysées à la suite de leur ajustement pour les effets de pratique grâce

au calcul de l'index de fiabilité au changement (« Reliable Change Index » ou RCI, Duff, 2012 ; Iverson, 2001). La troisième hypothèse concerne l'implication dans l'étude car la venue au laboratoire pour les différentes étapes du protocole et la rencontre avec les autres participants est un engagement social pour les participants (Krueger et al., 2009). L'association entre les contacts sociaux crées au cours de l'expérimentation et la réalisation d'une activité cognitivement stimulante a probablement amélioré la cognition des participants du groupe contrôle comme l'ont montré Gallucci et collaborateurs (2009). En outre, la sensibilisation à la notion de « plasticité cérébrale » et au fait qu'il était possible de « stimuler » son cerveau a pu motiver les participants à réaliser d'autres activités pour atteindre des objectifs personnels qu'ils se seraient fixés (Stine-Morrow et al., 2014).

Ces trois hypothèses peuvent également être reprises afin d'expliquer l'amélioration des performances pour les groupes ayant réalisé l'entraînement cognitif, puisque pour ce qui concerne l'implication dans le protocole, tous les participants ont suivi les formations encadrées, séances qui avaient lieu trois fois (voir Figure 16, page 100 pour le rappel du déroulé du protocole). L'effet des séances de groupes est difficilement quantifiable, car elles avaient pour but de motiver les participants, de les aider à résoudre les problèmes qu'ils auraient pu rencontrer sur la plateforme internet, mais également de les informer sur le vieillissement cognitif, de les sensibiliser à la pratique de l'entraînement et de contextualiser les fonctions cognitives associées à l'activité de conduite.

Notre étude présente quelques limites. La première concerne la relative hétérogénéité des groupes en termes de SE et de SsE, due à la moindre proportion de SsE que de SE dans la cohorte. En effet, 120 conducteurs au total devaient être inclus, avec 40 participants par groupe (20 SE et 20 SsE dans chacun d'eux), seulement, des difficultés de recrutement ont empêché d'atteindre cet objectif. Parmi les 324 personnes contactées, 106 ont accepté de participer (27,6 %) et 88 ont finalement terminé l'entraînement, parmi lesquels 50 SE et 38 SsE. Les inclusions ont débuté par les participants des groupes expérimentaux. Le déséquilibre entre les deux groupes (42 participants dans le groupe EC et 28 dans le groupe EC + S) s'explique par le fait que neuf conducteurs ont été malades sur le simulateur de conduite lors de l'épisode de familiarisation et n'ont pas pu finalement faire partie du groupe réalisant l'immersion sur le simulateur. Afin de ne pas perdre ces participants, ils ont été inclus dans le groupe EC. Une autre critique qui pourrait être faite à ce travail est l'absence de vérification du niveau cognitif par le Mini-Mental State Examination (MMSE, Folstein, Robins & Helzer, 1983). Le recueil de ces données aurait pu permettre une analyse par sous-groupes afin de vérifier comment l'entraînement améliorait les capacités cognitives en fonction du niveau cognitif de base.

II. Influence de l'entraînement cognitif sur la calibration des capacités cognitives des seniors

Un autre focus de ce travail de thèse consistait à évaluer l'efficacité de l'entraînement cognitif sur la calibration de la cognition et plus précisément sur la correction du biais de calibration présenté par les participants, la sur ou la sous-estimation des capacités cognitives. Afin de faire prendre conscience aux participants de leurs capacités, des feedbacks sur les performances après la réalisation de chaque exercice (lors de l'entraînement cognitif, de l'immersion sur simulateur ou de l'activité de lecture) ont été utilisés. Ces feedbacks sur les performances sont connus pour favoriser la prise de conscience des capacités (Molnar et al., 2010) et la rétention d'informations apprises lors d'entraînement à la conduite (Casutt et al., 2014 ; Lavallière et al., 2012 ; Romoser & Fisher, 2009).

Les interventions proposées ont corrigé le biais de calibration pour près de la moitié des participants, traduisant un alignement entre leurs capacités cognitives réelles et leurs capacités cognitives perçues (Horrey et al., 2015). Néanmoins, les participants ayant amélioré leur calibration n'étaient pas de meilleurs conducteurs que ceux sur ou sous-estimant leurs capacités cognitives après la fin du programme. Le gain de cette amélioration de la calibration n'est pas directement mesurable sur les performances de conduite globales, en revanche, il pourrait l'être sur des situations de conduite plus spécifiques, connues pour être difficiles pour les personnes âgées (par exemple, le tourne-à-gauche, l'insertion sur l'autoroute, les changements de voie, les ronds-points, etc.). En effet, l'amélioration de la calibration a des répercussions à la fois sur les capacités nécessaires pour réaliser une tâche mais également sur le jugement que porte l'individu sur sa capacité à réaliser cette tâche. Plus précisément, une tâche est difficile lorsque les ressources qu'elle nécessite dépassent les ressources disponibles de l'individu. Un individu bien calibré sera en mesure de juger correctement la difficulté d'une tâche et d'ajuster son comportement en conséquence afin que ses ressources cognitives suffisent à réaliser la tâche convenablement. Par conséquent, afin d'évaluer le gain des interventions sur la capacité de jugement, il serait intéressant d'explorer plus finement la perception de situations de conduite difficiles présélectionnées (les parcours étant défini à l'avance, le choix des situations a priori est possible) et de comparer la précision du jugement avant et après l'entraînement.

Afin de quantifier les effets de l'amélioration de la calibration sur les comportements de conduite, une prochaine étude pourrait également viser à recueillir, à la suite d'un entraînement cognitif, les différents éléments constitutifs des différents niveaux

hiérarchiques définis par Hatakka et collaborateurs en 2002. Les auteurs ont développé un cadre théorique d'orientation des objectifs et des contenus des interventions adressées à tous les conducteurs appelé le « Goals and contents for Driver Education framework » ou « GDE ». Ce cadre vise à considérer les comportements à risque d'accidents et à focaliser le contenu des interventions et des entraînements sur l'auto-évaluation et sur la prise de conscience des facteurs de risque, plutôt qu'uniquement sur le contrôle du véhicule et le maniement des commandes (Hatakka, Keskinen, Gregersen, Glad, & Hernetkoski, 2002). Il peut être utilisé comme base d'évaluation des interventions spécifiques à la conduite et également pour le développement de nouvelles interventions. Le GDE définit quatre niveaux hiérarchiques, dépendamment des fonctions qu'il requiert. Le niveau 1 concerne le maniement du véhicule et fait appel aux automatismes. Le niveau 2 concerne la maîtrise des règles du code de la route et renvoie à la manière de conduire. Le niveau 3 concerne la planification et les buts à atteindre lors d'un déplacement. Enfin, le niveau 4 est le plus haut niveau et concerne le style de vie et les préférences personnelles. Il serait pertinent de vérifier comment l'amélioration de la calibration des capacités grâce aux interventions pour près de la moitié des participants a modifié i) la prise de conscience du risque sur la route et l'initiation d'un changement de comportement au volant (niveau 4), les stratégies de planification des déplacements des conducteurs (niveau 3), la manière de conduire (niveau 2), et le contrôle du véhicule (niveau1).

En ce qui concerne les deux profils de conducteurs inclus au départ de l'étude, les interventions semblent avoir été plus efficaces pour les SsE que pour les SE. En effet, deux fois plus de SsE que de SE sont parvenus à corriger leur biais de calibration à la suite des interventions. La moindre amélioration dans le groupe SE est probablement liée au fait que les SE sont plus résistants aux feedbacks négatifs (Ehrlinger & Dunning, 2003 ; Hacker et al., 2000). Afin de tenter d'expliquer cette résistance au changement, il serait intéressant de caractériser le locus de contrôle associé à la surestimation, par le biais des échelles d'internalité et d'externalité de la conduite automobile (Montag & Comrey, 1987). Le locus de contrôle est « le jugement exprimé par un individu sur l'origine des renforcements qu'il reçoit » (Benedetto, 2008, p105). Ce locus de contrôle est une caractéristique de la personnalité de l'individu définie par Rotter (1966). Il est qualifié « d'interne » lorsque l'individu considère que ce qui lui arrive est le fait de sa propre responsabilité, de ses actions ; et « d'externe » lorsqu'il attribue ce qui lui arrive au hasard ou à une cause extérieure. L'externalité est liée à une plus grande prise de risque sur la route (Özkan & Lajunen, 2005) et à un comportement agressif sur la route (Lajunen & Summala, 1995). Une étude récente de Huang & Ford (2012) a montré que le changement de locus de contrôle de conducteurs de poids lourds par le biais d'un entraînement à la conduite associé

à des feedbacks renseignant les forces et les faiblesses de chaque conducteur, avait des répercussions positives sur la sécurité routière. Les auteurs ont montré que la diminution de l'externalité et l'augmentation de l'internalité étaient associées à un comportement plus sécure sur la route. De plus, les conducteurs les plus motivés à maîtriser le contenu de l'entraînement diminuaient davantage leur externalité et les conducteurs qui se déclaraient être les plus efficaces, lors de l'évaluation de conduite initiale, augmentaient davantage leur internalité. L'hypothèse émise est que les SE présenteraient un locus de contrôle externe et qu'ils attribueraient leur échec à autre chose qu'à eux-mêmes, expliquant l'inefficacité des feedbacks négatifs. Ainsi, pour permettre à ces individus de prendre conscience de leurs capacités cognitives, il faudrait modifier leur locus de contrôle et faire en sorte qu'ils admettent que leurs difficultés proviennent bien de leurs capacités et qu'elles ne sont pas dues aux autres. Le moindre effet de l'entraînement chez les SE que chez les SsE peut être lié à l'extraversion, à l'ouverture et à la conscienciosité, des traits de personnalité associés à la surestimation des capacités cognitives (résultats du premier volet du projet SAFE MOVE[3]). Ces traits de personnalité ont été évalués par le « Big Five Inventory », décrit par (John & Srivastava, 1999). Plus précisément, l'hypothèse émise est que l'extraversion, qui est un trait de personnalité qui se caractérise par la recherche de stimulations nouvelles et par la volonté d'établir des interactions avec les autres, avec le monde extérieur, a probablement limité les effets de l'entraînement, car bien que plus curieux que les SsE les SE ont peut-être plus de mal à se remettre en question que les SsE. Des travaux complémentaires seraient à mener pour mieux comprendre ces effets et adapter l'entraînement en conséquence.

Le modèle transthéorique du changement de comportement adapté à la conduite proposé par Kowalski et collaborateurs (2014), permet de mieux comprendre les effets des feedbacks sur la modification du comportement du conducteur. Le passage d'une étape à une autre dans le processus du changement de comportement dépend de la balance décisionnelle évaluant le poids des avantages et des inconvénients à continuer de conduire ou à modifier/arrêter cette activité. Les auteurs ne décrivent néanmoins pas les facteurs qui entrent en compte dans cette balance. D'après le modèle d'Hassan et collaborateurs (2015), les feedbacks adressés aux conducteurs sont primordiaux pour la prise de conscience de la nécessité de changer de comportement et également pour l'initiation de l'action, c'est-à-dire, le changement de comportement effectif. L'hypothèse émise est que le poids des feedbacks positifs et négatifs entre dans cette balance décisionnelle. Or, les

[3] Lafont, S., Mintsa-Eya, C., Coquillat, A., Paire-Ficout, L., Chavoix, C, Fabrigoule, C. (to be submitted). Relationship between personality and self-estimation of cognitive abilities in older drivers: results of the SAFE MOVE cohort. American Journal of Epidemiology.

SE apparaissent moins sensibles aux feedbacks négatifs que les autres individus (Dunning et al., 2004 ; Ehrlinger & Dunning, 2003 ; Hacker et al., 2000). Un moyen de contourner cette résistance serait de modifier le type de feedbacks donnés aux participants lors de l'entraînement cognitif. Le fait de décrire et d'expliquer leurs erreurs aux participants favorise leur compréhension et leur apprentissage (Knowles et al., 2005). Ainsi, cette méthode pourrait peut-être favoriser la prise de conscience des capacités cognitives. Une prochaine étude pourrait viser à améliorer l'efficacité de feedbacks délivrés aux participants. Ces feedbacks, à la fois positifs et négatifs, seraient détaillés et personnalisés. Les feedbacks positifs permettraient de montrer au participant ce qui a été correctement réalisé et les feedbacks négatifs prendraient la forme d'un « rejeu » de l'exercice échoué, afin que le participant puisse identifier et comprendre ses erreurs.

Afin de contourner la résistance aux feedbacks, une autre perspective de recherche serait d'agir sur le ressenti des SE en utilisant le simulateur de conduite afin d'entraîner les conducteurs à la détection de dangers potentiels (Horswill et al., 2010) ce qui favoriserait la prise de conscience des risques pris sur la route (Davidse, Vlakveld, Doumen, & Craen, 2010). L'idée sous-jacente réside dans la notion « d'embodiment » ou « d'encorporation », qui caractérise l'influence de l'empreinte physique, sensorielle, émotionnelle, laissée par nos expériences passées sur nos actions futures (Farnell & Varela, 2008). L'immersion dans un environnement virtuel est en effet un moyen de recevoir des informations perceptives et émotionnelles. Une étude récente de 2014 a montré l'efficacité de cette expérience d'encorporation dans un environnement virtuel sur la modification de l'attitude des participant vis à vis de l'environnement (Ahn, Bailenson, & Park, 2014). Plus précisément, les auteurs ont montré que sensibiliser les participants à la déforestation (en leur faisant couper un arbre virtuellement) avait changé leur comportement et entraîner une diminution du gaspillage du papier chez ces personnes. Dans le cas de notre étude, expérimenter des situations de presque-accident ou d'accident sur simulateur amènerait les SE à prendre davantage conscience de leurs difficultés et de leur prise de risque sur la route.

III. Rôle du simulateur dans le transfert des bénéfices de l'entraînement cognitif aux performances de conduite sur route

A notre connaissance, aucune étude n'avait précédemment utilisé une immersion de conduite sur simulateur pour favoriser le transfert des bénéfices d'un entraînement cognitif. L'hypothèse de départ était que les situations de conduite présentées lors des séances permettaient de contextualiser les stratégies apprises lors de l'entraînement cognitif, favorisant ainsi leur apprentissage (Knowles et al., 2005). Les participants ayant

réalisé l'immersion sur simulateur de conduite en plus de l'entraînement cognitif ont eu les mêmes performances cognitives aux tests que les participants ayant réalisé l'entraînement cognitif seul et qu'ils ont également amélioré leur score tactique à la TRIP. De plus, ils n'ont pas plus diminué leur nombre d'erreurs total à la suite de l'entraînement que les participants du groupe EC. L'immersion sur simulateur ne semble pas avoir été suffisante pour améliorer la performance de conduite globale, telle qu'elle a été évaluée. Cette absence d'amélioration après l'immersion sur simulateur peut être liée à la durée d'exposition choisie (trois fois 20 minutes), aux situations entraînées et à la nature des feedbacks donnés aux participants. Malgré le fait que la durée d'exposition choisie était équivalente à celle de Lavallière et collaborateurs (2012), associées à des feedbacks sur la performance, qui avaient prouvé leur efficacité pour augmenter les vérifications dans les rétroviseurs et les angles morts en situation de changement de voie, les bénéfices sur les contrôles visuels ne sont pas retrouvés dans la présente étude. Cette durée a pu être insuffisante pour permettre l'apprentissage dans les situations choisies. L'étude récente de Casutt et collaborateurs (2014) réalisée auprès de conducteurs âgés (62 à 87 ans) a montré une amélioration de la performance de conduite globale sur route après 6 heures de conduite sur simulateur. Les auteurs ont entraîné les conducteurs sur neuf séances de 40 minutes chacune. Outre la durée, une autre hypothèse est que les situations entraînées dans notre étude aient été moins propices à une amélioration de la performance. En effet, Casutt et collaborateurs ont proposé un entraînement plus complet, où le conducteur évoluait dans diverses situations de conduite (en centre-ville, en ville, en banlieue, sur autoroute). L'augmentation de la difficulté au fur et à mesure des séances d'entraînement était basée sur l'augmentation du trafic, du nombre de priorités à droite, de l'apparition de dangers potentiels (par exemple : la traversée de piétons) ainsi que sur la variation des conditions météorologiques qui influençaient la visibilité des conducteurs (temps pluvieux, brouillard, ou nuit). Par conséquent, un entraînement sur simulateur, pour qu'il soit encore plus bénéfique, nécessiterait des situations plus complexes que celles utilisées dans la présente étude.

Toutefois, de futurs travaux semblent nécessaires pour déterminer la durée de simulation minimale pour un transfert efficace des bénéfices d'un entraînement cognitif sur route. En effet, puisque le développement d'un programme d'entraînement complet sur simulateur de conduite est coûteux, il serait utile de trouver un compromis entre coût et efficacité. En outre, le simulateur peut induire le mal du simulateur ce qui limite son utilisation dans ce type d'études. Néanmoins, Casutt et collaborateurs (2014) ont mentionné que pour certains participants les symptômes s'atténuaient au fur et à mesure des séances de conduite simulée. Afin que cette limite dans l'utilisation du simulateur puisse être levée,

des méthodes pour réduire le mal du simulateur sont étudiées A cet égard, une méthode a été testée dans le cadre de cette thèse, les résultats sont développés dans la partie suivante.

IV. Efficacité de la stimulation galvanique cutanée de la nuque sur la réduction du mal du simulateur

Bien que la SGC réduise de manière significative le MS chez les jeunes conducteurs (Gálvez-García, 2015 ; Gálvez-García et al., 2015), cet effet n'a pas été observé dans l'étude menée auprès de conducteurs plus âgés. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées afin d'expliquer cette absence d'effet de la SGC chez les participants âgés. Tout d'abord, il est possible que les participants inclus dans notre étude n'aient pas été suffisamment sensibles au mal du simulateur pour observer un effet de la SGC. Or, la susceptibilité au MS était positivement corrélée à la sensibilité au mal des transports durant l'enfance (évaluée grâce à la partie A du questionnaire de sensibilité au mal des transports, MSSQ-A). Ainsi, une prochaine étude viserait à étudier l'effet de la SGC auprès de participants âgés plus sensibles au MS, sélectionnés grâce au MSSQ-A. La seconde hypothèse est que le fonctionnement du système d'intégration multi-sensorielle évolue avec l'âge induisant un effet différent de la SGC chez les conducteurs âgés par rapport aux conducteurs jeunes. Il serait intéressant de déterminer les mécanismes d'intégration des différents stimuli sensoriels lors d'un épisode de conduite sur simulateur en présence et en absence de SGC chez les conducteurs jeunes et plus âgés, à l'aide de tests de posturographie dynamique. Enfin, la dernière hypothèse concerne le contrôle postural des individus. Les auteurs ayant réalisé des travaux chez les jeunes conducteurs suggèrent que la diminution du MS à la suite de la SGC est due à une amélioration du contrôle postural mais les mécanismes sous-jacents ne sont pas encore connus. Une prochaine étude pourrait donc viser à évaluer l'influence de la SGC de la nuque sur le contrôle postural des seniors grâce à une mesure du centre de pression sur une plateforme de stabilométrie.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le travail réalisé dans cette thèse, qui s'inscrit dans un projet franco-suédois intitulé « SAFE MOVE for older drivers » et financé par l'ANR, visait principalement à évaluer, auprès d'une population de conducteurs âgés de plus de 70 ans, présentant des biais de calibration cognitive (à savoir une sous-estimation (SsE) ou une surestimation (SE) de leurs capacités cognitives), les effets d'un entraînement cognitif informatisé, réalisé pendant trois mois, associé ou non à une immersion sur simulateur de conduite, sur i) les performances cognitives, ii) les performances de conduite sur route, et iii) la calibration des capacités cognitives. Les effets de l'entraînement cognitif, associé ou non à l'immersion sur simulateur de conduite ont été comparés à ceux d'une activité contrôle, de lecture.

Les interventions réalisées ont révélé une amélioration de i) la calibration des capacités cognitives, ii) certaines dimensions de la cognition et iii) l'adaptation comportementale au volant. Nos résultats n'ont pas permis d'identifier le type d'intervention, à savoir l'entraînement cognitif ou l'activité de lecture, qui serait le plus bénéfique pour améliorer la calibration des capacités cognitives, ainsi que les performances cognitives et de conduite. De futures recherches devraient être menées afin de différencier l'efficacité de la participation aux formations encadrées de celle de l'activité contrôle et de l'entraînement cognitif, et ainsi formuler des recommandations plus précises sur le meilleur type d'intervention à proposer aux conducteurs seniors.

Un des résultats majeurs de ce travail est l'amélioration de la calibration observée à la suite des interventions, qui traduit une prise de conscience des capacités cognitives de la part des seniors et concerne près de la moitié des participants inclus dans notre étude. De plus, les SsE semblaient être plus sensibles à nos interventions que les SE puisqu'ils avaient davantage pris conscience de leurs capacités cognitives. Ce résultat peut être appliqué dans de nombreuses études visant à améliorer les capacités cognitives et de conduite, en déterminant en amont de l'intervention le statut de calibration des conducteurs afin de leur proposer une intervention plus adaptée. En effet, pour les participants SE, il est nécessaire de déterminer le type de feedback à proposer afin de permettre la prise de conscience des capacités, favoriser la remise en question et contribuer ainsi à l'efficacité de l'intervention. Il serait souhaitable, par exemple, d'évaluer l'efficacité de l'accompagnement personnalisé d'un participant SE lors de la réalisation d'un exercice cognitif, basé sur l'explication de ses erreurs grâce à un « rejeu » de l'exercice et sur le détail de la stratégie à adopter afin de favoriser l'apprentissage (Knowles et al., 2005) et permettre, à terme, la prise de conscience de ses capacités.

D'après le modèle d'Hassan et collaborateurs (2015), la prise de conscience des capacités est à l'origine du processus de changement de comportement des conducteurs

se traduisant par l'autorégulation de la conduite. Une autre perspective de recherche serait d'évaluer les bénéfices de nos interventions sur les modifications des habitudes de conduite des participants (telles que la diminution des déplacements, en termes de fréquence ou d'étendue), et sur la mise en place des stratégies d'autorégulation (telles que l'évitement de situations jugées complexes) grâce à des questionnaires ou à la collecte de données en conduite naturalistique. La prise de conscience des capacités n'est pas le seul facteur à influencer la mise en place de stratégies d'autorégulation de la conduite (voir le modèle d'Hassan et al., 2015, page 48). Outre le fait d'avoir agi sur la prise de conscience, il est possible que la participation à ce programme ait apporté des connaissances nouvelles aux participants, sur le fonctionnement cognitif et l'influence du vieillissement, et sur les difficultés cognitives rencontrées en conduite automobile. Cet apport de connaissances nouvelles a pu favoriser la remise en question des seniors et contribuer ainsi à l'amélioration de leur prise de conscience (Stalvey & Owsley, 2003 ; Strain, 2003).

Un accompagnement des conducteurs seniors dans leur changement de comportement semble nécessaire. Cet accompagnement pourrait prendre différentes formes comme la sensibilisation des seniors à l'utilisation de systèmes d'aide à la conduite, tels que les systèmes d'information d'angle mort ou l'assistance au tourne-à-gauche (qui pourraient être bénéfiques pour alléger leur charge cognitive pendant la tâche de conduite et réduire ainsi les risques d'accidents). Les seniors pourraient également être sensibilisés à l'utilisation de moyens de transports alternatifs, tels que les transports en commun ou le co-voiturage, afin de permettre à ceux qui ne seraient plus aptes à conduire de maintenir leur mobilité, essentielle à leur indépendance et à leur « bien vieillir ».

Enfin, ce travail n'a pas permis de conclure sur l'apport du simulateur de conduite dans le cadre des interventions proposées aux conducteurs séniors présentant un biais de calibration des capacités cognitives. D'autres travaux devront être menés pour évaluer l'efficacité d'un entraînement basé sur simulateur plus long et plus complet. De plus, bien que la SGC de la nuque soit une contremesure efficace pour réduire le mal du simulateur chez les conducteurs jeunes, elle ne semble pas l'être chez les conducteurs plus âgés etant davantage sensibles à ce malaise. Par conséquent, d'autres études pourraient également être réalisées afin de parvenir à limiter le mal du simulateur qui demeure un inconvénient majeur à l'utilisation du simulateur de conduite auprès de cette population.

Références bibliographiques

1. Achenbaum, W. A., & Bengtson, V. L. (1994). Re-engaging the disengagement theory of aging: On the history and assessment of theory development in gerontology. *The Gerontologist*, *34*(6), 756–763.
2. Ackerman, M. L., Crowe, M., Vance, D. E., Wadley, V. G., Owsley, C., & Ball, K. K. (2011). The Impact of Feedback on Self-rated Driving Ability and Driving Self-regulation Among Older Adults. *The Gerontologist*, *51*(3), 367‑378. http://doi.org/10.1093/geront/gnq082
3. Adler, G., & Rottunda, S. (2006). Older adults' perspectives on driving cessation. *Journal of Aging studies*, *20*(3), 227–235.
4. Adrian, J., Postal, V., Moessinger, M., Rascle, N., & Charles, A. (2011). Personality traits and executive functions related to on-road driving performance among older drivers. *Accident; Analysis and Prevention*, *43*(5), 1652‑1659. http://doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.023
5. Ahn, S. J. (Grace), Bailenson, J. N., & Park, D. (2014). Short- and long-term effects of embodied experiences in immersive virtual environments on environmental locus of control and behavior. *Computers in Human Behavior*, *39*, 235‑245. http://doi.org/10.1016/j.chb.2014.07.025
6. Akinwuntan, A. E., Devos, H., Verheyden, G., Baten, G., Kiekens, C., Feys, H., & De Weerdt, W. (2010). Retraining moderately impaired stroke survivors in driving-related visual attention skills. *Topics in Stroke Rehabilitation*, *17*(5), 328‑336. http://doi.org/10.1310/tsr1705-328
7. Akinwuntan, A. E., De Weerdt, W., Feys, H., Pauwels, J., Baten, G., Arno, P., & Kiekens, C. (2005). Effect of simulator training on driving after stroke: a randomized controlled trial. *Neurology*, *65*(6), 843‑850. http://doi.org/10.1212/01.wnl.0000171749.71919.fa
8. Alaphilippe, D., & Bailly, N. (2013). *Psychologie de l'adulte âgé*. De Boeck Supérieur. Consulté à l'adresse https://hal-univ-tours.archives-ouvertes.fr/hal-01077710
9. Amado, S., Arıkan, E., Kaça, G., Koyuncu, M., & Turkan, B. N. (2014). How accurately do drivers evaluate their own driving behavior? An on-road observational study. *Accident Analysis & Prevention*, *63*, 65‑73. http://doi.org/10.1016/j.aap.2013.10.022
10. Andersen, G. J., & Enriquez, A. (2006). Aging and the detection of observer and moving object collisions. *Psychology and aging*, *21*(1), 74.
11. Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., … Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, *501*(7465), 97‑101. http://doi.org/10.1038/nature12486
12. Anstey, K. J., & Low, L.-F. (2004). Normal cognitive changes in aging. *Australian Family Physician*, *33*(10), 783‑787.
13. Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S., & Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review*, *25*(1), 45 ‑ 65. http://doi.org/10.1016/j.cpr.2004.07.008
14. Atchley, R. C. (1989). A continuity theory of normal aging. *The gerontologist*, *29*(2), 183–190.
15. Bajaj, J. S., Thacker, L. R., Heuman, D. M., Gibson, D. P., Sterling, R. K., Stravitz, R. T., … Wade, J. B. (2012). Driving simulation can improve insight into impaired driving skills in cirrhosis. *Digestive Diseases and Sciences*, *57*(2), 554‑560. http://doi.org/10.1007/s10620-011-1888-3
16. Baldock, M. R. J., Mathias, J. L., McLean, A. J., & Berndt, A. (2006). Self-regulation of driving and its relationship to driving ability among older adults. *Accident Analysis & Prevention*, *38*(5), 1038–1045.
17. Baldock, M. R. J., Thompson, J. P., & Mathias, J. L. (2008). Self-regulation of driving behaviour among older drivers: Findings from a five year follow-up (p. 470 ‑ 478). Présenté à 2008 Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, Adelaide, Australia:

Department of Transport, Energy and Infrastructure. http://casr.adelaide.edu.au/publications/list/?id=1038

18. Ball, K. K., Berch, D. B., Helmers, K. F., Jobe, J. B., Leveck, M. D., Marsiske, M., … Advanced Cognitive Training for Independent and Vital Elderly Study Group. (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults: a randomized controlled trial. *JAMA*, *288*(18), 2271‑2281.

19. Ball, K. K., Edwards, J. D., Ross, L. A., & McGwin, G. (2010). Cognitive training decreases motor vehicle collision involvement of older drivers. *Journal of the American Geriatrics Society*, *58*(11), 2107‑13. http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.03138.x

20. Ball, K. K., Owsley, C., & Beard, B. (1990). Clinical visual perimetry underestimates peripheral field problems in older adults. *Clinical Vision Sciences*, *5*, 113‑125.

21. Ball, K. K., Owsley, C., Sloane, M. E., Roenker, D. L., & Bruni, J. R. (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *34*(11), 3110‑3123.

22. Ball, K. K., Owsley, C., Stalvey, B., Roenker, D. L., Sloane, M. E., & Graves, M. (1998). Driving avoidance and functional impairment in older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, *30*(3), 313–322.

23. Baltes, P. B. (1987). Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline. *Developmental Psychology*, *23*(5), 611 ‑ 626. http://doi.org/10.1037/0012-1649.23.5.611

24. Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, *84*(2), 191.

25. Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory.* Prentice-Hall, Inc. http://psycnet.apa.org/psycinfo/1985-98423-000/

26. Bandura, A. (1993). Perceived self-efficacy in cognitive development and functioning. *Educational psychologist*, *28*(2), 117–148.

27. Bandura, A., & Adams, N. E. (1977). Analysis of self-efficacy theory of behavioral change. *Cognitive Therapy and Research*, *1*(4), 287‑310. http://doi.org/10.1007/BF01663995

28. Bao, S., & Boyle, L. (2009). Driver safety programs: the influence on the road performance of older drivers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2096), 76–80.

29. Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W., & Kramer, A. F. (2008). Can Training in a Real-Time Strategy Videogame Attenuate Cognitive Decline in Older Adults? *Psychology and aging*, *23*(4), 765‑777. http://doi.org/10.1037/a0013494

30. Baumann, C., Erpelding, M.-L., Regat, S., Collin, J.-F., & Briancon, S. (2010). The WHOQOL-BREF questionnaire: French adult population norms for the physical health, psychological health and social relationship dimensions. *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, *58*(1), 33–39.

31. Bédard, M. B., Parkkari, M., Weaver, B., Riendeau, J., & Dahlquist, M. (2010). Assessment of driving performance using a simulator protocol: validity and reproducibility. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, *64*(2), 336‑340.

32. Bedard, M., Isherwood, I., Moore, E., Gibbons, C., & Lindstrom, W. (2004). Evaluation of a re-training program for older drivers. *Canadian Journal of Public Health*, *95*, 295‑8.

33. Bedard, M., Porter, M. M., Marshall, S., Isherwood, I., Riendeau, J., Weaver, B., … Miller-Polgar, J. (2008). The combination of two training approaches to improve older adults' driving safety. *Traffic Injury and Prevention*, *9*, 70‑6. http://doi.org/10.1080/15389580701670705

34. Benedetto, P. (2008). Chapitre 9. Le sentiment de contrôle. *Ouvertures sociologiques*, 103‑112.

35. Berry, C. (2011). Can older drivers be nudged? How the public and private sectors can influence older drivers' self-regulation. http://trid.trb.org/view.aspx?id=1148710

36. Bham, G. H., Leu, M. C., Vallati, M., & Mathur, D. R. (2014). Driving simulator validation of driver behavior with limited safe vantage points for data collection in work zones. *Journal of Safety Research*, *49*, 53‑60. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.02.012

37. Bherer, L. (2015). Cognitive plasticity in older adults: effects of cognitive training and physical exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1337*, 1 ‑ 6. http://doi.org/10.1111/nyas.12682

38. Blana, E. (1996, décembre). Driving Simulator Validation Studies: A Literature Review. [Monograph]. http://www.its.leeds.ac.uk/

39. Blanchard, R. A., & Myers, A. M. (2010). Examination of driving comfort and self-regulatory practices in older adults using in-vehicle devices to assess natural driving patterns. *Accident; Analysis and Prevention*, *42*(4), 1213‑1219. http://doi.org/10.1016/j.aap.2010.01.013

40. Blanpain, N., & Chardon, O. (2010). Projections de population à l'horizon 2060 : un tiers de la population âgé de plus de 60 ans, (1320).

41. Blazer, D. G. (2002). Self-efficacy and depression in late life: A primary prevention proposal. *Aging & Mental Health*, *6*(4), 315‑324. http://doi.org/10.1080/1360786021000006938

42. Boot, W. R., Stothart, C., & Charness, N. (2014). Improving the safety of aging road users: a mini-review. *Gerontology*, *60*(1), 90‑96. http://doi.org/10.1159/000354212

43. Borowsky, A., Shinar, D., & Oron-Gilad, T. (2010). Age, skill, and hazard perception in driving. *Accident Analysis & Prevention*, *42*(4), 1240‑1249. http://doi.org/10.1016/j.aap.2010.02.001

44. Bouffard-Bouchard, T., Parent, S., & Larivee, S. (1991). Influence of Self-Efficacy on Self-Regulation and Performance among Junior and Senior High-School Age Students. *International Journal of Behavioral Development*, *14*(2), 153 ‑ 164. http://doi.org/10.1177/016502549101400203

45. Brazier, J. E., Harper, R., Jones, N. M., O'Cathain, A., Thomas, K. J., Usherwood, T., & Westlake, L. (1992). Validating the SF-36 health survey questionnaire: new outcome measure for primary care. *BMJ : British Medical Journal*, *305*(6846), 160‑164.

46. Brookhuis, K., Waard, D. de, & Mulder, B. (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics*, *37*(3), 427‑434. http://doi.org/10.1080/00140139408963661

47. Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., … Wills, R. F. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accid Anal Prev*, *42*, 788‑96. http://doi.org/10.1016/j.aap.2009.04.013

48. Brouwer, W. H. (2002). Attention et aptitude à la conduite automobile: Approche neuropsychologique. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni, & P. Azouvi, *La Neuropsychologie de l'Attention* (Groupe de Boeck, p. 243‑254). Solal.

49. Brouwer, W. H., & Ponds, R. W. (1994). Driving competence in older persons. *Disability and Rehabilitation*, *16*, 149‑61.

50. Burke, M. (1995). Dizziness in the elderly: etiology and treatment. *The Nurse Practitioner*, *20*(12), 28, 31‑35.

51. Burkhardt, J., & Mcgavock, A. (1999). Tomorrow's Older Drivers: Who? How Many? What Impacts? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1693*, 62‑70. http://doi.org/10.3141/1693-10

52. Burnett, G. E. ; I. (2007). Driving simulator sickness and validity: how important is it to use real car cabins? *Advances in Transportation Studies*, *2007 Special Issue*.

53. Cabeza, R., & Dennis, N. A. (2013). Frontal lobes and aging: deterioration and compensation. In D. T. Stuss & R. T. Knight, *Principles of frontal lobe function. 2d ed.* (p. 628–652). New York: Oxford University Press.: OUP USA. http://cabezalab.org/wp-content/uploads/2012/12/Cabeza-Dennis12_FrontalAging_Stuss-KnightBook.pdf

54. Caird, J. K., Chisholm, S. L., Edwards, C. J., & Creaser, J. I. (2007). The effect of yellow light onset time on older and younger drivers' perception response time (PRT) and intersection behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *10*(5), 383‐396. http://doi.org/10.1016/j.trf.2007.03.002

55. Caird, J. K., Chisholm, S. L., & Lockhart, J. (2008). Do in-vehicle advanced signs enhance older and younger drivers' intersection performance? Driving simulation and eye movement results. *International Journal of Human-Computer Studies*, *66*(3), 132 ‐ 144. http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2006.07.006

56. 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: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *47*(2), 235‐249. http://doi.org/10.1518/0018720054679542

57. Caprara, M., Molina, M. Á., Schettini, R., Santacreu, M., Orosa, T., Mendoza-Núñez, V. M., … Fernández-Ballesteros, R. (2013). Active aging promotion: results from the vital aging program. *Current Gerontology and Geriatrics Research*, *2013*, 817813. http://doi.org/10.1155/2013/817813

58. Carmelli, D., Swan, G. E., LaRue, A., & Eslinger, P. J. (1997). Correlates of Change in Cognitive Function in Survivors from the Western Collaborative Group Study. *Neuroepidemiology*, *16*(6), 285‐295. http://doi.org/10.1159/000109699

59. Casali, J. G., & Wierwille, W. W. (1980). The Effects of Various Design Alternatives on Moving-Base Driving Simulator Discomfort. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *22*(6), 741‐756. http://doi.org/10.1177/001872088002200610

60. Cassavaugh, N. D., & Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics*, *40*, 943 ‐ 52. http://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.02.001

61. Casutt, G., Theill, N., Martin, M., Keller, M., & Jäncke, L. (2014). The drive-wise project: driving simulator training increases real driving performance in healthy older drivers. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*, 85. http://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00085

62. Charlton, J. L., Oxley, J., Fildes, B., Oxley, P., Newstead, S., Koppel, S., & O'Hare, M. (2006). Characteristics of older drivers who adopt self-regulatory driving behaviours. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *9*(5), 363 ‐ 373. http://doi.org/10.1016/j.trf.2006.06.006

63. Cheung, I., & McCartt, A. T. (2011). Declines in fatal crashes of older drivers: changes in crash risk and survivability. *Accident; Analysis and Prevention*, *43*(3), 666 ‐ 674. http://doi.org/10.1016/j.aap.2010.10.010

64. Cicchino, J. B. (2015). Why have fatality rates among older drivers declined? The relative contributions of changes in survivability and crash involvement. *Accident; Analysis and Prevention*, *83*, 67‐73. http://doi.org/10.1016/j.aap.2015.06.012

65. Clark, P. G. (1988). Autonomy, personal empowerment, and quality of life in long-term care. *Journal of Applied Gerontology*, *7*(3), 279–297.

66. Classen, S., Bewernitz, M., & Shechtman, O. (2011). Driving simulator sickness: an evidence-based review of the literature. *Am J Occup Ther*, *65*, 179‐88.

67. Classen, S., & Brooks, J. (2014). Driving simulators for occupational therapy screening, assessment, and intervention. *Occupational Therapy in Health Care*, *28*(2), 154 ‐ 162. http://doi.org/10.3109/07380577.2014.901590

68. Classen, S., Levy, C., McCarthy, D., Mann, W. C., Lanford, D., & Waid-Ebbs, J. K. (2009). Traumatic brain injury and driving assessment: an evidence-based literature review. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, *63*(5), 580‐591.

69. Claverie, B., N'Kaoua, B., & Sauzéon, H. (1999). Étude de l'effet de l'âge sur l'influence des processus d'élaboration dans le rappel de mots concrets et abstraits. *L'année psychologique*, *99*(4), 647‑661. http://doi.org/10.3406/psy.1999.28498

70. 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: Official Publication of the American Academy of Optometry*, *82*(8), 724‑731.

71. Cohen, R. A., Moser, D. J., Clark, M. M., Aloia, M. S., Cargill, B. R., Stefanik, S., … Forman, D. E. (1999). Neurocognitive functioning and improvement in quality of life following participation in cardiac rehabilitation. *The American Journal of Cardiology*, *83*(9), 1374 - 1378. http://doi.org/10.1016/S0002-9149(99)00103-4

72. Collette, F., & Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie française*, *59*(1), 41–58.

73. Costanza, M. E., Luckmann, R., Stoddard, A. M., Avrunin, J. S., White, M. J., Stark, J. R., … Rosal, M. C. (2005). Applying a stage model of behavior change to colon cancer screening. *Preventive Medicine*, *41*(3–4), 707‑719. http://doi.org/10.1016/j.ypmed.2004.12.013

74. Cox, D. J., Singh, H., & Cox, D. M. (2011). Effectiveness of Acupressure and Acustimulation in Minimizing Driving Simulation Adaptation Syndrome. *Military Medicine*, *176*, 1440‑1443.

75. Craik, F. I. M., & Salthouse, T. A. (2000). *The Handbook of Aging and Cognition*. Lawrence Erlbaum Associates.

76. Cramer, S. C., Sur, M., Dobkin, B. H., O'Brien, C., Sanger, T. D., Trojanowski, J. Q., … Vinogradov, S. (2011). Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain: A Journal of Neurology*, *134*(Pt 6), 1591‑1609. http://doi.org/10.1093/brain/awr039

77. Crisler, M. C., Brooks, J. O., Drouin, N., Schold Davis, E., Healy, S. L., Kopera, K. W., … Sifrit, K. (2013). The DrivingHealth® Inventory as a clinical screening tool-assessment of face validity and acceptance. *Occupational Therapy in Health Care*, *27*(4), 355 - 371. http://doi.org/10.3109/07380577.2013.847297

78. Cuddy, A. J. C., Norton, M. I., & Fiske, S. T. (2005). This Old Stereotype: The Pervasiveness and Persistence of the Elderly Stereotype. *Journal of Social Issues*, *61*(2), 267 - 285. http://doi.org/10.1111/j.1540-4560.2005.00405.x

79. Cumming, E., & Henry, W. E. (1961). *Growing old, the process of disengagement*. Basic Books.

80. Dahl, E., Offer-Ohlsen, D., Lillevold, P. E., & Sandvik, L. (1984). Transdermal scopolamine, oral meclizine, and placebo in motion sickness. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, *36*(1), 116‑120. http://doi.org/10.1038/clpt.1984.148

81. 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*(2), 221‑238. http://doi.org/10.1076/jcen.24.2.221.993

82. D'Ambrosio, L. A., Donorfio, L. K. M., Coughlin, J. F., Mohyde, M., & Meyer, J. (2008). Gender differences in self-regulation patterns and attitudes toward driving among older adults. *Journal of Women & Aging*, *20*(3-4), 265‑282.

83. Davidse, R. J., Vlakveld, W. P., Doumen, M. J. A., & Craen, S. de. (2010). State awareness, risk awareness of and calibration by road users : a literature study. http://trid.trb.org/view.aspx?id=916341

84. 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 (New York, N.Y.: 1991)*, *18*(5), 1201‑1209. http://doi.org/10.1093/cercor/bhm155

85. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1987). The support of autonomy and the control of behavior. *Journal of personality and social psychology*, *53*(6), 1024.

86. De Craen, S., Twisk, D. A. M., Hagenzieker, M. P., Elffers, H., & Brookhuis, K. A. (2011). Do young novice drivers overestimate their driving skills more than experienced drivers? Different methods lead to different conclusions. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(5), 1660‑1665. http://doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.024

87. De Raedt, R., & Ponjaert-Kristoffersen, I. (2000a). Can strategic and tactical compensation reduce crash risk in older drivers? *Age Ageing*, *29*, 517‑21.

88. De Raedt, R., & Ponjaert-Kristoffersen, I. (2000b). The relationship between cognitive/neuropsychological factors and car driving performance in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, *48*(12), 1664‑1668.

89. De Raedt, R., & Ponjaert-Kristoffersen, I. (2001). Predicting at-fault car accidents of older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, *33*(6), 809–819.

90. Devos, H., Akinwuntan, A. E., Nieuwboer, A., Ringoot, I., Van Berghen, K., Tant, M., … De Weerdt, W. (2010). Effect of simulator training on fitness-to-drive after stroke: a 5-year follow-up of a randomized controlled trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *24*(9), 843‑850. http://doi.org/10.1177/1545968310368687

91. Devos, H., Akinwuntan, A. E., Nieuwboer, A., Tant, M., Truijen, S., De Wit, L., … De Weerdt, W. (2009). Comparison of the effect of two driving retraining programs on on-road performance after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *23*(7), 699 - 705. http://doi.org/10.1177/1545968309334208

92. Dewar, R., Kline, D., Scheiber, F., & Swanson, A. (1997). *Symbol signing design for older drivers*. http://trid.trb.org/view.aspx?id=473319

93. Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135‑168. http://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

94. Diener, E. (1984). Subjective well-being. *Psychological Bulletin*, *95*(3), 542‑575.

95. Diener, E. (2012). New findings and future directions for subjective well-being research. *The American Psychologist*, *67*(8), 590‑597. http://doi.org/10.1037/a0029541

96. Diener, E., Oishi, S., & Lucas, R. E. (2003). Personality, culture, and subjective well-being: emotional and cognitive evaluations of life. *Annual Review of Psychology*, *54*, 403‑425. http://doi.org/10.1146/annurev.psych.54.101601.145056

97. Dobbs, A. R., Heller, R. B., & Schopflocher, D. (1998). A comparative approach to identify unsafe older drivers. *Accident; Analysis and Prevention*, *30*(3), 363‑370.

98. Dobres, J., Potter, A., Reimer, B., Mehler, B., Mehler, A., & Coughlin, J. (2013). Assessing the Impact of « Brain Training » on Changes in Driving Performance, Visual Behavior, and Neuropsychology. In *7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*. http://www.researchgate.net/profile/Jonathan_Dobres/publication/259460984_Assessing_the_impact_of_brain_training_on_driving_performance_visual_behavior_and_neuropsychological_measures/links/0046352deca20616b3000000.pdf

99. Domeyer, J. E., Cassavaugh, N. D., & Backs, R. W. (2013). The use of adaptation to reduce simulator sickness in driving assessment and research. *Accident; Analysis and Prevention*, *53*, 127‑132. http://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.039

100. Donorfio, L. K. M., D'Ambrosio, L. A., Coughlin, J. F., & Mohyde, M. (2008). Health, safety, self-regulation and the older driver: it's not just a matter of age. *Journal of Safety Research*, *39*, 555‑61. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.09.003

101. Donorfio, L. K. M., D'Ambrosio, L. A., Coughlin, J. F., & Mohyde, M. (2009). To drive or not to drive, that isn't the question—the meaning of self-regulation among older drivers. *Journal of safety research*, *40*(3), 221–226.

102. Donorfio, L. K. M., Mohyde, M., & D'Ambrosio, L. A. (2008). A Qualitative Exploration of Self-Regulation Behaviors Among Older Drivers. *Journal of Aging & Social Policy*, *20*(3), 323‑339. http://doi.org/10.1080/08959420802050975

103. Dubé, M., Alain, M., Lapierre, S., & Lalande, G. (1992). *Relation entre l'autonomie et certains facteurs psychologiques (actualisation de soi, support social, résignation acquise, niveau d'espoir) chez les âgés et très âgées* (CQRS No. RS-1617 088). Université du Québec à Trois-Rivières: Laboratoire de Gérontologie.

104. Dubé, M., Lamy, L., Lalande, G., Lapierre, S., & Alain, M. (1990). L'autonomie psychologique des personnes âgées: Le concept et son opérationnalisation. Présenté à 1e congrès international de gérontologie francophone., Montréal: Université du Québec à Trois-Rivière, Laboratoire de gérontologie.

105. Duff, K. (2012). Evidence-based indicators of neuropsychological change in the individual patient: relevant concepts and methods. *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, *27*(3), 248 - 261. http://doi.org/10.1093/arclin/acr120

106. Dumont, M., Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (2000). Echelle d'auto-efficacité généralisée. French Adaptation of the Generalized Self-Efficacy Scale. http://userpage.fu-berlin.de/~health/french.htm

107. Dunning, D., Heath, C., & Suls, J. M. (2004). Flawed Self-Assessment: Implications for Health, Education, and the Workplace. *Psychological Science in the Public Interest: A Journal of the American Psychological Society*, *5*(3), 69 - 106. http://doi.org/10.1111/j.1529-1006.2004.00018.x

108. Easom, L. R. (2003). Concepts in health promotion. Perceived self-efficacy and barriers in older adults. *Journal of Gerontological Nursing*, *29*(5), 11‑19.

109. Eby, D. W., Molnar, L. J., Shope, J. T., Vivoda, J. M., & Fordyce, T. A. (2003). Improving older driver knowledge and self-awareness through self-assessment: the driving decisions workbook. *Journal of Safety Research*, *34*(4), 371‑381.

110. Edwards, C. J., Creaser, J. I., Caird, J. K., Lamsdale, A. M., & Chisholm, S. L. (2003). Older and younger driver performance at complex intersections: Implications for using perception-response time and driving simulation (p. 33‑37).

111. Edwards, J. D., Delahunt, P. B., & Mahncke, H. W. (2009). Cognitive speed of processing training delays driving cessation. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *64*, 1262‑7. http://doi.org/10.1093/gerona/glp131

112. Edwards, J. D., Lunsman, M., Perkins, M., Rebok, G. W., & Roth, D. L. (2009). Driving cessation and health trajectories in older adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *64*(12), 1290‑1295. http://doi.org/10.1093/gerona/glp114

113. Edwards, J. D., Myers, C., Ross, L. A., Roenker, D. L., Cissell, G. M., McLaughlin, A. M., & Ball, K. K. (2009). The longitudinal impact of cognitive speed of processing training on driving mobility. *Gerontologist*, *49*, 485‑94. http://doi.org/10.1093/geront/gnp042

114. Ehrlinger, J., & Dunning, D. (2003). How chronic self-views influence (and potentially mislead) estimates of performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, *84*(1), 5‑17.

115. Ehrlinger, J., Johnson, K., Banner, M., Dunning, D., & Kruger, J. (2008). Why the Unskilled Are Unaware: Further Explorations of (Absent) Self-Insight Among the Incompetent. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *105*(1), 98 - 121. http://doi.org/10.1016/j.obhdp.2007.05.002

116. Eisenhandler, S. A. (1990). The asphalt identikit: old age and the driver's license. *International Journal of Aging & Human Development*, *30*(1), 1‑14.

117. Elliott, J. O., Seals, B. F., & Jacobson, M. P. (2007). Use of the Precaution Adoption Process Model to examine predictors of osteoprotective behavior in epilepsy. *Seizure*, *16*(5), 424–437.

118. Eyler, L. T., Sherzai, A., Kaup, A. R., & Jeste, D. V. (2011). A Review of Functional Brain Imaging Correlates of Successful Cognitive Aging. *Biological Psychiatry*, *70*(2), 115‑122. http://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.12.032

119. Fabrigoule, C., & Lafont, S. (2015). Conduite automobile, vieillissement cognitif et maladie d'Alzheimer. *La Presse Médicale*. http://doi.org/10.1016/j.lpm.2015.04.006

120. Fagbemi, O. S. ; P. (2006). The relationship between sleep patterns and the experience of simulator sickness and motion sickness. *Advances in Transportation Studies*, *2006 Special Issue*, 63‑70.

121. Farnell, B., & Varela, C. R. (2008). The Second Somatic Revolution1. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, *38*(3), 215‑240. http://doi.org/10.1111/j.1468-5914.2008.00369.x

122. Fernández-Ballesteros, R. (2008). *Active Aging: The Contribution of Psychology*. Hogrefe Publishing.

123. Fernández-Ballesteros, R., Botella, J., Zamarrón, M. D., Molina, M. Á., Cabras, E., Schettini, R., & Tárraga, L. (2012). Cognitive plasticity in normal and pathological aging. *Clinical Interventions in Aging*, *7*, 15‑25. http://doi.org/10.2147/CIA.S27008

124. Fernández-Ballesteros, R., Robine, J. M., Walker, A., & Kalache, A. (2013). Active aging: a global goal. *Current gerontology and geriatrics research*, *2013*. http://www.hindawi.com/journals/cggr/aip/298012/

125. Fitzpatrick, R. C., & Day, B. L. (2004). Probing the human vestibular system with galvanic stimulation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *96*(6), 2301 ‑ 2316. http://doi.org/10.1152/japplphysiol.00008.2004

126. Folstein MF, Robins LN, & Helzer JE. (1983). The mini-mental state examination. *Archives of General Psychiatry*, *40*(7), 812‑812. http://doi.org/10.1001/archpsyc.1983.01790060110016

127. Fonda, S. J., Wallace, R. B., & Herzog, A. R. (2001). Changes in driving patterns and worsening depressive symptoms among older adults. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *56*(6), S343‑351.

128. Freund, B., Colgrove, L. A., Burke, B. L., & McLeod, R. (2005). Self-rated driving performance among elderly drivers referred for driving evaluation. *Accident; Analysis and Prevention*, *37*(4), 613‑618. http://doi.org/10.1016/j.aap.2005.03.002

129. Freund, B., & Green. (2006). Simulator sickness amongst older drivers with and without dementia. *Advances in Transportation Studies*, *2006 Special Issue*, 71‑74.

130. Frey, J. G. (2005). [OSAS and driving capacity]. *Revue Médicale Suisse*, *1*(23), 1561‑1562, 1564.

131. Friedman, C., McGwin, G., Ball, K. K., & Owsley, C. (2013). Association between Higher Order Visual Processing Abilities and a History of Motor Vehicle Collision Involvement by Drivers Ages 70 and Over. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *54*(1), 778 ‑ 782. http://doi.org/10.1167/iovs.12-11249

132. Gabaude, C., Marquié, J.-C., & Obriot-Claudel, F. (2010). Self-regulatory driving behaviour in the elderly: relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. http://www.cairn.info/revue-le-travail-humain-2010-1-page-31.htm

133. Gajewski, P. D., & Falkenstein, M. (2012). Training-induced improvement of response selection and error detection in aging assessed by task switching: effects of cognitive, physical, and relaxation training. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 130. http://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00130

134. Galarneau, M. (1999, septembre). *L'estime de soiet sa relation à l'autonomie psychologique chez les personnes âgées autonomes vivant à domicile*. Mémoire, Université du Québec à Trois-Rivières.

135. Gallucci, M., Antuono, P., Ongaro, F., Forloni, P. L., Albani, D., Amici, G. P., & Regini, C. (2009). Physical activity, socialization and reading in the elderly over the age of seventy: What is the relation with cognitive decline? Evidence from « The Treviso Longeva (TRELONG) study ». *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *48*(3), 284 - 286. http://doi.org/10.1016/j.archger.2008.02.006

136. Gálvez-García, G. (2015). A comparison of techniques to mitigate Simulator Adaptation Syndrome. *Ergonomics*, *58*(8), 1365‑1371. http://doi.org/10.1080/00140139.2015.1005168

137. Gálvez-García, G., Hay, M., & Gabaude, C. (2015). Alleviating Simulator Sickness with Galvanic Cutaneous Stimulation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *57*(4), 649‑657. http://doi.org/10.1177/0018720814554948

138. Gaspar, J. G., Neider, M. B., Simons, D. J., McCarley, J. S., & Kramer, A. F. (2012). Examining the efficacy of training interventions in improving older driver performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *56*(1), 144–148.

139. Gates, N. J., Sachdev, P. S., Singh, M. A. F., & Valenzuela, M. (2011). Cognitive and memory training in adults at risk of dementia: A Systematic Review. *BMC Geriatrics*, *11*(1), 55. http://doi.org/10.1186/1471-2318-11-55

140. George, S., Crotty, M., Gelinas, I., & Devos, H. (2014). Rehabilitation for improving automobile driving after stroke. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, *2*, CD008357. http://doi.org/10.1002/14651858.CD008357.pub2

141. Giffard, B., Desgranges, B., & Eustache, F. (2001). Le vieillissement de la mémoire : vieillissement normal et pathologique. *Gérontologie et société*, *n° 97*(2), 33‑47.

142. Giffard, B., Desgranges, B., Kerrouche, N., Piolino, P., & Eustache, F. (2003). The Hyperpriming Phenomenon in Normal Aging: A Consequence of Cognitive Slowing? *Neuropsychology*, *17*(4), 594‑601. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/0894-4105.17.4.594

143. Goode, N., Salmon, P. M., & Lenne, M. G. (2012). Simulation-based driver and vehicle crew training: Applications, efficacy and future directions. *Applied Ergonomics*. http://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.10.007

144. Grady, C. (2012). The cognitive neuroscience of ageing. *Nature Reviews. Neuroscience*, *13*(7), 491‑505. http://doi.org/10.1038/nrn3256

145. Graeber, D. A., & Stanney, K. M. (2002). Gender Differences in Visually Induced Motion Sickness. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *46*, 2109 ‑2109.

146. Greenwood, P. M. (2007). Functional plasticity in cognitive aging: review and hypothesis. *Neuropsychology*, *21*(6), 657‑673. http://doi.org/10.1037/0894-4105.21.6.657

147. Gregersen, N. P. (1996). Young drivers' overestimation of their own skill—an experiment on the relation between training strategy and skill. *Accident Analysis & Prevention*, *28*(2), 243‑250. http://doi.org/10.1016/0001-4575(95)00066-6

148. Groessl, E. J., Kaplan, R. M., Rejeski, W. J., Katula, J. A., King, A. C., Frierson, G., … Pahor, M. (2007). Health-related quality of life in older adults at risk for disability. *American Journal of Preventive Medicine*, *33*(3), 214‑218. http://doi.org/10.1016/j.amepre.2007.04.031

149. Guillaume, C., Guillery-Girard, B., Eustache, F., & Desgranges, B. (2009). Mémoire et vieillissement normal : données comportementales et électrophysiologiques. *NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie*, *9*(49), 3‑9. http://doi.org/10.1016/j.npg.2008.04.012

150. Gutchess, A. H., Welsh, R. C., Hedden, T., Bangert, A., Minear, M., Liu, L. L., & Park, D. C. (2005). Aging and the neural correlates of successful picture encoding: frontal activations compensate for decreased medial-temporal activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(1), 84 ‑96. http://doi.org/10.1162/0898929052880048

151. Gwyther, H., & Holland, C. (2012). The effect of age, gender and attitudes on self-regulation in driving. *Accident; Analysis and Prevention*, *45*, 19‑28. http://doi.org/10.1016/j.aap.2011.11.022

152. Hacker, D. J., Bol, L., Horgan, D. D., & Rakow, E. A. (2000). Test prediction and performance in a classroom context. *Journal of Educational Psychology*, *92*(1), 160 - 170. http://doi.org/10.1037/0022-0663.92.1.160

153. Haibach, P., Slobounov, S., & Newell, K. (2009). Egomotion and Vection in Young and Elderly Adults. *Gerontology*, *55*(6), 637-643. http://doi.org/10.1159/000235816

154. Hakamies-Blomqvist, L., & Wahlström, B. (1998). Why do older drivers give up driving? *Accident; Analysis and Prevention*, *30*(3), 305-312.

155. Hassan, H., King, M., & Watt, K. (2015). The perspectives of older drivers on the impact of feedback on their driving behaviours: A qualitative study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *28*, 25-39. http://doi.org/10.1016/j.trf.2014.11.003

156. Hatakka, M., Keskinen, E., Gregersen, N. P., Glad, A., & Hernetkoski, K. (2002). From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *5*(3), 201–215.

157. Havighurst, R. J., & Albrecht, R. (1953). Older people. http://psycnet.apa.org/psycinfo/1954-05770-000

158. Hetland, A., & Carr, D. B. (2014). Medications and impaired driving. *The Annals of Pharmacotherapy*, *48*(4), 494-506. http://doi.org/10.1177/1060028014520882

159. Holland, C. A., & Rabbitt, P. (1992). People's awareness of their age-related sensory and cognitive deficits and the implications for road safety. *Applied Cognitive Psychology*, *6*(3), 217–231.

160. Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta Psychologica*, *26*(2), 107-129.

161. Horrey, W. J., Lesch, M. F., Mitsopoulos-Rubens, E., & Lee, J. D. (2015). Calibration of skill and judgment in driving: Development of a conceptual framework and the implications for road safety. *Accident Analysis & Prevention*, *76*, 25-33. http://doi.org/10.1016/j.aap.2014.12.017

162. Horswill, M. S., Kemala, C. N., Wetton, M., Scialfa, C. T., & Pachana, N. A. (2010). Improving older drivers' hazard perception ability. *Psycholology and Aging*, *25*, 464 - 9. http://doi.org/10.1037/a0017306

163. Horswill, M. S., Sullivan, K., Lurie-Beck, J. K., & Smith, S. (2013). How realistic are older drivers' ratings of their driving ability? *Accident; Analysis and Prevention*, *50*, 130 - 137. http://doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.001

164. Howard, D. V., Heisey, J. G., & Shaw, R. J. (1986). Aging and the priming of newly learned associations. *Developmental Psychology*, *22*(1), 78 - 85. http://doi.org/10.1037/0012-1649.22.1.78

165. Howarth, P. A., & Hodder, S. G. (2008). Characteristics of habituation to motion in a virtual environment. *Displays*, *29*(2), 117-123. http://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.009

166. Huang, J. L., & Ford, J. K. (2012). Driving locus of control and driving behaviors: Inducing change through driver training. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *15*, 358-368. http://doi.org/10.1016/j.trf.2011.09.002

167. Iverson, G. L. (2001). Interpreting change on the WAIS-III/WMS-III in clinical samples. *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, *16*(2), 183-191.

168. Jaeger, B. K., & Mourant, R. R. (2001). Comparison of Simulator Sickness Using Static and Dynamic Walking Simulators. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *45*, 1896-1900.

169. John, O. P., & Srivastava, S. (1999). The Big Five trait taxonomy: History, measurement, and theoretical perspectives. *Handbook of personality: Theory and research*, *2*(1999), 102–138.

170. Johnson, D. M. (2005). *Introduction to and Review of Simulator Sickness Research*.

171. Jones Ross, R. W., Cordazzo, S. T. D., & Scialfa, C. T. (2014). Predicting on-road driving performance and safety in healthy older adults. *Journal of Safety Research*, *51*, 73‑80. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.09.005

172. Jones, S., Nyberg, L., Sandblom, J., Stigsdotter Neely, A., Ingvar, M., Magnus Petersson, K., & Backman, L. (2006). Cognitive and neural plasticity in aging: general and task-specific limitations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *30*, 864 - 71. http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.012

173. Justiss, M. D. (2013). Occupational therapy interventions to promote driving and community mobility for older adults with low vision: a systematic review. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, *67*(3), 296‑302. http://doi.org/10.5014/ajot.2013.005660

174. Kalpouzos, G., Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). La mémoire prospective au cours du vieillissement : déclin ou préservation ? *NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie*, *8*(47), 25‑31. http://doi.org/10.1016/j.npg.2008.06.003

175. Kawano, N., Iwamoto, K., Ebe, K., Aleksic, B., Noda, A., Umegaki, H., … Ozaki, N. (2012). Slower adaptation to driving simulator and simulator sickness in older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, *24*(3), 285‑289.

176. Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., Walsh, C., & Brennan, S. (2014). The impact of cognitive training and mental stimulation on cognitive and everyday functioning of healthy older adults: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, *15*, 28‑43. http://doi.org/10.1016/j.arr.2014.02.004

177. Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Williams, M. C., Brannan, J., & Welch, R. B. (1987). Transfer of perceptual-motor training and the space adaptation syndrome. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *58*, A29‑33.

178. Kennedy, R. S., & Fowlkes, J. E. (1992). Simulator Sickness Is Polygenic and polysymptomatic: Implications for Research. *International Journal of Aviation Psychology*, *2*, 23.

179. Kennedy, R. S., Lane, N., Berbaum, K., & Lilienthal, M. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, *3*, 203‑220.

180. Kennedy, R. S., Lilienthal, M. G., Berbaum, K. S., McCauley, M. E., & Baltzley, D. R. (1989). Simulator sickness in U.S. Navy flight simulators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *60*(1), 10‑16.

181. Kennedy, R. S., Stanney, K. M., & Dunlap, W. P. (2000). Duration and exposure to virtual environments: sickness curves during and across sessions. *Presence*, *9(5)*, 436‑472.

182. Knowles, M. S., Holton, E. F., & Swanson, R. A. (2005). *The Adult Learner: The Definitive Classic in Adult Education and Human Resource Development*. Elsevier.

183. Kolasinski, E. M., & Gilson, R. D. (1998). Simulator Sickness and Related Findings in a Virtual Environment. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *42*, 1511‑1515.

184. Kolasinski, E. M., Goldberg, S. L., & Hiller, J. H. (1995). *Simulator sickness in virtual environments.* (Technical Report 1027.). Alexandria, VA, USA: Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.

185. Korner-Bitensky, N., Kua, A., von Zweck, C., & Van Benthem, K. (2009). Older driver retraining: an updated systematic review of evidence of effectiveness. *Journal of Safety Research*, *40*, 105‑11. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2009.02.002

186. Kostyniuk, L. P., Molnar, L. J., & Shope, J. T. (2001). *Driving reduction/cessation among older drivers: toward a behavioural framework.*

187. Kowalski, K., Jeznach, A., & Tuokko, H. A. (2014). Stages of driving behavior change within the Transtheoretical Model (TM). *Journal of Safety Research*, *50*, 17 - 25. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.01.002

188. Krueger, K. R., Wilson, R. S., Kamenetsky, J. M., Barnes, L. L., Bienias, J. L., & Bennett, D. A. (2009). Social Engagement and Cognitive Function in Old Age. *Experimental Aging Research*, *35*(1), 45‑60. http://doi.org/10.1080/03610730802545028

189. Kruger, J., & Dunning, D. (1999). Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *Journal of Personality and Social Psychology*, *77*(6), 1121‑1134.

190. Kua, A., Korner-Bitensky, N., Desrosiers, J., Man-Son-Hing, M., & Marshall, S. (2007). Older driver retraining: a systematic review of evidence of effectiveness. *Journal of Safety Research*, *38*, 81‑90. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2007.01.002

191. Kueider, A. M., Parisi, J. M., Gross, A. L., & Rebok, G. W. (2012). Computerized cognitive training with older adults: a systematic review. *PLoS One*, *7*, e40588. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0040588

192. Laasonen, M., Salomaa, J., Cousineau, D., Leppämäki, S., Tani, P., Hokkanen, L., & Dye, M. (2012). Project DyAdd: visual attention in adult dyslexia and ADHD. *Brain and Cognition*, *80*(3), 311‑327. http://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.08.002

193. Lachman, M. E., & Leff, R. (1989). Perceived control and intellectual functioning in the elderly: A 5-year longitudinal study. *Developmental Psychology*, *25*(5), 722 - 728. http://doi.org/10.1037/0012-1649.25.5.722

194. Lachman, M. E., Weaver, S. L., Bandura, M., Elliot, E., & Lewkowicz, C. J. (1992). Improving Memory and Control Beliefs Through Cognitive Restructuring and Self-generated Strategies. *Journal of Gerontology*, *47*(5), P293‑P299. http://doi.org/10.1093/geronj/47.5.P293

195. Lafont, S., & Laumon, B. (2003). Vieillissement et gravité des atteintes lésionnelles des victimes d'accident de la circulation routière. *Recherche - Transports - Sécurité*, *79–80*, 121‑133. http://doi.org/10.1016/S0761-8980(03)00010-4

196. Lafont, S., Laumon, B., Helmer, C., Dartigues, J.-F., & Fabrigoule, C. (2008). Driving cessation and self-reported car crashes in older drivers: the impact of cognitive impairment and dementia in a population-based study. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, *21*(3), 171 ‑182. http://doi.org/10.1177/0891988708316861

197. Lafont, S., Marin-Lamellet, C., Paire-Ficout, L., Thomas-Anterion, C., Laurent, B., & Fabrigoule, C. (2010). The Wechsler Digit Symbol Substitution Test as the best indicator of the risk of impaired driving in Alzheimer disease and normal aging. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *29*(2), 154‑163. http://doi.org/10.1159/000264631

198. Lafont, S., Paire-Ficout, L., Gabaude, C., Hay, M., Bellet, T., Paris, J.-C., … Fabrigoule, C. (in press). *SAFE MOVE for older drivers : pour une mobilité sûre des conducteurs âgés.* (Vieillissement de la population et transport. Direction de la Recherche et de l'Innovation du MEDDE - La Documentation Française ed).

199. Lajunen, T., & Summala, H. (1995). Driving experience, personality, and skill and safety-motive dimensions in drivers' self-assessments. *Personality and Individual Differences*, *19*(3), 307–318.

200. Lallemand, S., Paire-Ficout, L., Chavoix, C., Lafont, S., Levin, L., & Fabrigoule, C. (2013). *Identification of the potential discrepancies of challanging situations/scenarios according to crash studies and drivers themselves* (SAFE MOVE for older drivers project deliverable No. 1.1, 28p.).

201. Lampit, A., Hallock, H., & Valenzuela, M. (2014). Computerized cognitive training in cognitively healthy older adults: a systematic review and meta-analysis of effect modifiers. *PLoS Medicine*, *11*(11), e1001756. http://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001756

202. Langford, J., & Koppel, S. (2006). The case for and against mandatory age-based assessment of older drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *9*(5), 353‑362. http://doi.org/10.1016/j.trf.2006.06.009

203. Lavalliere, M., Simoneau, M., Tremblay, M., Laurendeau, D., & Teasdale, N. (2012). Active training and driving-specific feedback improve older drivers' visual search prior to lane changes. *BMC Geriaticsr*, *12*, 5. http://doi.org/10.1186/1471-2318-12-5

204. Lazarus, R. S., & Launier, R. (1978). Stress-related transactions between person and environment. In *Perspectives in interactional psychology* (p. 287–327). Springer. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-3997-7_12

205. Lecerf, T., Ribaupierre, A. D., Fagot, D., & Dirk, J. (2007). Psychologie développementale du lifespan. *Gérontologie et société*, *123*(4), 85‑107.

206. Lees, M. N., & Lee, J. D. (2007). The influence of distraction and driving context on driver response to imperfect collision warning systems. *Ergonomics*, *50*(8), 1264 ‑ 1286. http://doi.org/10.1080/00140130701318749

207. Legault, C., Jennings, J. M., Katula, J. A., Dagenbach, D., Gaussoin, S. A., Sink, K. M., … SHARP-P Study Group. (2011). Designing clinical trials for assessing the effects of cognitive training and physical activity interventions on cognitive outcomes: the Seniors Health and Activity Research Program Pilot (SHARP-P) study, a randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, *11*, 27. http://doi.org/10.1186/1471-2318-11-27

208. Lemaire, P. (2010). Cognitive Strategy Variations During Aging. *Current Directions in Psychological Science*, *19*(6), 363‑369. http://doi.org/10.1177/0963721410390354

209. Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement: une perspective cognitive*. De Boeck Supérieur.

210. Levasseur, M., Audet, T., Gélinas, I., Bédard, M., Langlais, M.-È., Therrien, F.-H., … D'Amours, M. (2015). Awareness tool for safe and responsible driving (OSCAR): a potential educational intervention for increasing interest, openness and knowledge about the abilities required and compensatory strategies among older drivers. *Traffic Injury Prevention*, *16*(6), 578‑586. http://doi.org/10.1080/15389588.2014.994742

211. Lew, H. L., Rosen, P. N., Thomander, D., & Poole, J. H. (2009). The potential utility of driving simulators in the cognitive rehabilitation of combat-returnees with traumatic brain injury. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, *24*(1), 51 ‑ 56. http://doi.org/10.1097/HTR.0b013e3181956fe3

212. Lindstrom-Forneri, W. (2009). *Safety Awareness For Elderly Drivers (SAFE): the development and evaluation of an educational intervention on age-related driving issues and safe driving behaviours for older drivers.* University of Victoria.

213. Littman, E. M., Otten, E. W., & Smart, J. L. J. (2010). Consequence of Self Versus Externally Generated Visual Motion on Postural Regulation. *Ecological Psychology*, *22*, 150 ‑ 167. http://doi.org/10.1080/10407411003720106

214. Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., & Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin*, *136*(4), 659‑676. http://doi.org/10.1037/a0020080

215. Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2005). Development of Intellectual Abilities in Old Age: From Age Gradients to Individuals. In *Handbook of Understanding and Measuring Intelligence* (O. Wihelm & R. Engle, p. 203‑221). Thousand Oaks, California, United States: SAGE Publications, Inc.

216. Lövdén, M., Wenger, E., Mårtensson, J., Lindenberger, U., & Bäckman, L. (2013). Structural brain plasticity in adult learning and development. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *37*(9 Pt B), 2296‑2310. http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.02.014

217. Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychology Review*, *19*(4), 504 - 522. http://doi.org/10.1007/s11065-009-9119-9

218. Luszczynska, A., Scholz, U., & Schwarzer, R. (2005). The General Self-Efficacy Scale: Multicultural Validation Studies. *The Journal of Psychology*, *139*(5), 439 - 457. http://doi.org/10.3200/JRLP.139.5.439-457

219. Lyman, J. M., McGwin, G., & Sims, R. V. (2001). Factors related to driving difficulty and habits in older drivers. *Accident; Analysis and Prevention*, *33*(3), 413-421.

220. 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*(2), 116 -120. http://doi.org/10.1136/ip.8.2.116

221. MacDonald, L., Myers, A. M., & Blanchard, R. A. (2008). Correspondence among older drivers' perceptions, abilities, and behaviors. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, *24*(3), 239–252.

222. Macinko, J., Silver, D., & Bae, J. Y. (2015). Age, period, and cohort effects in motor vehicle mortality in the United States, 1980-2010: the role of sex, alcohol involvement, and position in vehicle. *Journal of Safety Research*, *52*, 47-57. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.12.003

223. Mackett, R. (2015). Improving accessibility for older people – Investing in a valuable asset. *Journal of Transport & Health*, *2*(1), 5-13. http://doi.org/10.1016/j.jth.2014.10.004

224. Mahncke, H. W., Connor, B. B., Appelman, J., Ahsanuddin, O. N., Hardy, J. L., Wood, R. A., … Merzenich, M. M. (2006). Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: a randomized, controlled study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*(33), 12523 - 12528. http://doi.org/10.1073/pnas.0605194103

225. Mailis-Gagnon, A., Lakha, S. F., Furlan, A., Nicholson, K., Yegneswaran, B., & Sabatowski, R. (2012). Systematic review of the quality and generalizability of studies on the effects of opioids on driving and cognitive/psychomotor performance. *The Clinical Journal of Pain*, *28*(6), 542-555. http://doi.org/10.1097/AJP.0b013e3182385332

226. Mariné, C., & Huet, N. (1998). Techniques d'évaluation de la métacognition. I Les mesures indépendantes de l'exécution de tâches. II Les mesures dépendantes de l'exécution de tâches. *L'année psychologique*, *98*(4), 711-742. http://doi.org/10.3406/psy.1998.28566

227. Marino, M., de Belvis, A., Basso, D., Avolio, M., Pelone, F., Tanzariello, M., & Ricciardi, W. (2012). Interventions to evaluate fitness to drive among people with chronic conditions: Systematic review of literature. *Accident Analysis and Prevention*. http://doi.org/10.1016/j.aap.2012.05.010

228. Marmeleira, J. F., Godinho, M. B., & Fernandes, O. M. (2009). The effects of an exercise program on several abilities associated with driving performance in older adults. *Accident Analysis Prevention*, *41*, 90-7. http://doi.org/10.1016/j.aap.2008.09.008

229. Marottoli, R. A., Mendes de Leon, C. F., Glass, T. A., Williams, C. S., Cooney, L. M., & Berkman, L. F. (2000). Consequences of driving cessation: decreased out-of-home activity levels. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *55*(6), S334 -340.

230. Marottoli, R. A., Mendes de Leon, C. F., Glass, T. A., Williams, C. S., Cooney, L. M., Berkman, L. F., & Tinetti, M. E. (1997). Driving Cessation and Increased Depressive Symptoms: Prospective Evidence from the New Haven EPESE. *Journal of the American Geriatrics Society*, *45*(2), 202-206. http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1997.tb04508.x

231. Marottoli, R. A., Ness, P. H., Araujo, K. L., Iannone, L. P., Acampora, D., Charpentier, P., & Peduzzi, P. (2007). A randomized trial of an education program to enhance older driver performance. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *62*, 1113-9.

232. Marottoli, R. A., & Richardson, E. D. (1998). Confidence in, and self-rating of, driving ability among older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, *30*, 331‑6.

233. Martin, M., Clare, L., Altgassen, A. M., Cameron, M. H., & Zehnder, F. (2011). Cognition-based interventions for healthy older people and people with mild cognitive impairment. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, (1), CD006220. http://doi.org/10.1002/14651858.CD006220.pub2

234. Mathias, J. L., & Lucas, L. K. (2009). Cognitive predictors of unsafe driving in older drivers: a meta-analysis. *International Psychogeriatrics*, *21*, 637 - 53. http://doi.org/10.1017/s1041610209009119

235. Mayer, K. U. (2003). The sociology of the life course and lifespan psychology: diverging or converging pathways? In *Understanding human development* (p. 463–481). Springer. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-0357-6_23

236. Mayhew, D. R., Robertson, R., & Vanlaar, W. (2014). *Computer-Based Cognitive Training Programs for Older Drivers: What Research Tells Us* (No. 14G) (p. 20). Ottawa, Ontario, Canada: Traffic Injury Research Foundation.

237. Mayhew, D. R., Simpson, H. M., Wood, K. M., Lonero, L., Clinton, K. M., & Johnson, A. G. (2011). On-road and simulated driving: concurrent and discriminant validation. *Journal of Safety Research*, *42*(4), 267‑275. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2011.06.004

238. McCauley, M. E., & Sharkey, T. J. (1992). Cybersickness: Perception of Motion in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *1(3)*, 311‑318.

239. McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2011). The neuropsychology of prospective memory in normal aging: a componential approach. *Neuropsychologia*, *49*(8), 2147 - 2155. http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.029

240. McDowd, J. M., & Shaw, R. J. (2000). Attention and aging: A functional perspective. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (éd.), *The handbook of aging and cognition (2nd ed.)* (p. 221‑292). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

241. Meng, A., & Siren, A. (2012). Cognitive problems, self-rated changes in driving skills, driving-related discomfort and self-regulation of driving in old drivers. *Accident Analysis and Prevention*, *49*, 322‑9. http://doi.org/10.1016/j.aap.2012.01.023

242. Meng, A., Siren, A., & Teasdale, T. W. (2013). Older drivers with cognitive impairment: Perceived changes in driving skills, driving-related discomfort and self-regulation of driving. *European Geriatric Medicine*, *4*(3), 154‑160. http://doi.org/10.1016/j.eurger.2013.01.002

243. Messinger-Rapport, B. J. (2003). Assessment and counseling of older drivers. A guide for primary care physicians. *Geriatrics*, *58*(12), 16‑18, 21‑24.

244. 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*(5), S298‑303.

245. Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In *Human behavior and traffic safety* (p. 485–524). Springer. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-2173-6_19

246. Miller, K. E., & Muth, E. R. (2004). Efficacy of acupressure and acustimulation bands for the prevention of motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *75*, 227‑34.

247. Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex « Frontal Lobe » Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49 - 100. http://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

248. Mollenhauer, M. A. (2004). *Simulator adaptation syndrome literature review*. DTIC Document. http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA513655

249. Molnar, L. J., Eby, D. W., Kartje, P. S., & St Louis, R. M. (2010). Increasing self-awareness among older drivers: the role of self-screening. *Journal of Safety Research*, *41*(4), 367‑373. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2010.06.003

250. Molnar, L. J., Eby, D. W., Roberts, J. S., St Louis, R., & Langford, J. (2009). A new approach to assessing self-regulation by older drivers: Development and testing of a questionnaire instrument. *Ann Arbor, MI: University of Michigan Transportation Research Institute*. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.169.4855&rep=rep1&type=pdf

251. Montag, I., & Comrey, A. L. (1987). Internality and externality as correlates of involvement in fatal driving accidents. *Journal of Applied Psychology*, *72*(3), 339 - 343. http://doi.org/10.1037/0021-9010.72.3.339

252. Moss, J. D., & Muth, E. R. (2011). Characteristics of Head-Mounted Displays and Their Effects on Simulator Sickness. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *53*, 308–319‑308–319.

253. Moták, L., Gabaude, C., Bougeant, J.-C., & Huet, N. (2014). Comparison of driving avoidance and self-regulatory patterns in younger and older drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *26, Part A*, 18‑27. http://doi.org/10.1016/j.trf.2014.06.007

254. Mourant, R. R. ; R. (2007). The effect of driving environments on simulator sickness (Vol. 3, p. 1232‑1236). PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 51st ANNUAL MEETING.

255. Mozolic, J. L., Long, A. B., Morgan, A. R., Rawley-Payne, M., & Laurienti, P. J. (2011). A cognitive training intervention improves modality-specific attention in a randomized controlled trial of healthy older adults. *Neurobiol Aging*, *32*, 655 - 68. http://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2009.04.013

256. Nachum, D. Z., Shupak, A., & Gordon, C. R. (2012). Transdermal Scopolamine for Prevention of Motion Sickness. *Clinical Pharmacokinetics*, *45*(6), 543 - 566. http://doi.org/10.2165/00003088-200645060-00001

257. Nasvadi, G. E. (2007). Changes in self-reported driving behaviour following attendance at a mature driver education program. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *10*, 358‑369. http://doi.org/10.1016/j.trf.2007.02.001

258. Nasvadi, G. E., & Vavrik, J. (2007). Crash risk of older drivers after attending a mature driver education program. *Accident Analysis and Prevention*, *39*, 1073 - 9. http://doi.org/10.1016/j.aap.2007.02.005

259. Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Hashizume, H., Akitsuki, Y., Shigemune, Y., … Kawashima, R. (2012). Brain training game improves executive functions and processing speed in the elderly: a randomized controlled trial. *PloS One*, *7*(1), e29676. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0029676

260. OCDE. (2012). *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 Les conséquences de l'inaction: Les conséquences de l'inaction*. OECD Publishing.

261. OCDE. (2016). In *Comment va la vie ? 2015 : Mesurer le bien-être*. Paris: OCDE.

262. OECD. (2001). *Ageing and Transport*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. http://www.oecd-ilibrary.org/content/book/9789264195851-en

263. Ordy, J. M., & Kaack, B. (1975). Neurochemical Changes in Composition, Metabolism and Neurotransmitters in the Human Brain with Age. In J. M. Ordy & K. R. Brizzee (éd.), *Neurobiology of Aging* (p. 253‑285). Springer US. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4684-0925-3_12

264. Organisation Mondiale de la Santé. (2002). *Vieillir en restant actif Cadre d'orientation*. Madrid, Espagne. http://www.who.int/ageing/active_ageing/en/

265. Organisation Mondiale de la Santé. (2007). *Global Age-friendly Cities: A Guide*. World Health Organization.

266. Ostrow, A. C., Shaffron, P., & McPherson, K. (1992). The effects of a joint range-of-motion physical fitness training program on the automobile driving skills of older adults. *Journal of Safety Research*, *23*(4), 207‑219. http://doi.org/10.1016/0022-4375(92)90003-R

267. 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*(3), 403‑415.

268. Owsley, C., & McGwin, G. (2010). Vision and Driving. *Vision research*, *50*(23), 2348‑2361. http://doi.org/10.1016/j.visres.2010.05.021

269. Owsley, C., McGwin, G., Phillips, J. M., McNeal, S. F., & Stalvey, B. T. (2004). Impact of an educational program on the safety of high-risk, visually impaired, older drivers. *American journal of preventive medicine*, *26*(3), 222–229.

270. Owsley, C., Stalvey, B. T., & Phillips, J. M. (2003). The efficacy of an educational intervention in promoting self-regulation among high-risk older drivers. *Accident; Analysis and Prevention*, *35*(3), 393‑400.

271. Owsley, C., Stalvey, B., Wells, J., & Sloane, M. E. (1999). Older drivers and cataract: driving habits and crash risk. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, *54*, M203‑11.

272. Oxley, J., & Whelan, M. (2008). It cannot be all about safety: the benefits of prolonged mobility. *Traffic Injury Prevention*, *9*(4), 367‑378. http://doi.org/10.1080/15389580801895285

273. Özkan, T., & Lajunen, T. (2005). Multidimensional Traffic Locus of Control Scale (T-LOC): factor structure and relationship to risky driving. *Personality and Individual Differences*, *38*(3), 533‑545. http://doi.org/10.1016/j.paid.2004.05.007

274. Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The Adaptive Brain: Aging and Neurocognitive Scaffolding. *Annual Review of Psychology*, *60*, 173 - 196. http://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093656

275. Park, G. D., & Allen, R. W. (2006). Simulator sickness scores according to symptom susceptibility, age, And gender for an older driver assessment study (p. 2702 - 2706). PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 50th ANNUAL MEETING. http://doi.org/10.1177/154193120605002607

276. Park, G. D., Allen, R. W., Rosenthal, T. J., & Fiorentino, D. (2005). Training Effectiveness: How Does Driving Simulator Fidelity Influence Driver Performance? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *49*, 2201‑2205.

277. Peretz, C., Korczyn, A. D., Shatil, E., Aharonson, V., Birnboim, S., & Giladi, N. (2011). Computer-based, personalized cognitive training versus classical computer games: a randomized double-blind prospective trial of cognitive stimulation. *Neuroepidemiology*, *36*(2), 91 - 99. http://doi.org/10.1159/000323950

278. Piquemal-Vieu, L. (2001). Concepts, stress, coping. Le coping une ressource à identifier dans le soin infirmier. *Recherche en soins infirmiers*, *67*, 84‑98.

279. Porter, M. M., & Tuokko, H. A. (2011). An evaluation of the roadwise review: a mixed methods approach. *Traffic Injury Prevention*, *12*(5), 451 - 458. http://doi.org/10.1080/15389588.2011.601371

280. Preusser, D. F., Williams, A. F., Ferguson, S. A., Ulmer, R. G., & Weinstein, H. B. (1998). Fatal crash risk for older drivers at intersections. *Accident Analysis & Prevention*, *30*(2), 151–159.

281. Prochaska, J. O., & DiClemente, C. C. (1982). Transtheoretical therapy: Toward a more integrative model of change. *Psychotherapy: Theory, Research & Practice*, *19*(3), 276‑288. http://doi.org/10.1037/h0088437

282. Ragland, D. R., Satariano, W. A., & MacLeod, K. E. (2005). Driving Cessation and Increased Depressive Symptoms. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *60*(3), 399‑403. http://doi.org/10.1093/gerona/60.3.399

283. Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accident Analysis & Prevention*, *26*(6), 733‐750. http://doi.org/10.1016/0001-4575(94)90051-5

284. Ranney, T. A., Harbluk, J. L., & Noy, Y. I. (2005). Effects of voice technology on test track driving performance: implications for driver distraction. *Human Factors*, *47*(2), 439‐454.

285. Rapoport, M. J., Naglie, G., Weegar, K., Myers, A., Cameron, D., Crizzle, A., … Marshall, S. (2013). The relationship between cognitive performance, perceptions of driving comfort and abilities, and self-reported driving restrictions among healthy older drivers. *Accident; Analysis and Prevention*, *61*, 288‐295. http://doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.030

286. Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, *SMC-13*(3), 257‐266. http://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160

287. Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J., & Campbell, K. (1990). Errors and violations on the roads: a real distinction? *Ergonomics*, *33*(10-11), 1315 ‐ 1332. http://doi.org/10.1080/00140139008925335

288. Reason, J. T. (1978). Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journa of the Royal Society of Medicine*, *71*, 819‐29.

289. Reason, J. T., & Brand, J. J. (1975). Motion Sickness.

290. Reed-Jones, J. G., Reed-Jones, R. J., Trick, L. M., Toxopeus, R., & Vallis, L. A. (2009). Comparing techniques to reduce simulator adaptation syndrome and improve naturalistic behaviour during simulated driving (p. 276‐283). PROCEEDINGS of the Fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.

291. Reed-Jones, R. J., Reed-Jones, J. G., Trick, L. M., & Vallis, L. A. (2007). Can galvanic vestibular stimulation reduce simulator adaptation syndrome? (p. 534‐540). PROCEEDINGS of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.

292. Reed-Jones, R. J., Vallis, L. A., Reed-Jones, J. G., & Trick, L. M. (2008). The relationship between postural stability and virtual environment adaptation. *Neurosci Lett*, *435*, 204 ‐ 9. http://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.02.047

293. Reitan, R. M. (1958). Validity of the trail making test as an indicator of organic brain damage. *Perceptual and Motor Skills*, *8*(3), 271‐276. http://doi.org/10.2466/pms.1958.8.3.271

294. Reuter-Lorenz, P. A., & Park, D. C. (2014). How does it STAC up? Revisiting the scaffolding theory of aging and cognition. *Neuropsychology Review*, *24*(3), 355 ‐ 370. http://doi.org/10.1007/s11065-014-9270-9

295. Riccio, G. E., & Stoffregen, T. A. (1991). An ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecological Psychology*, *3*, 195.

296. Ridderinkhof, K. R., Span, M. M., & Van Der Molen, M. W. (2002). Perseverative behavior and adaptive control in older adults: performance monitoring, rule induction, and set shifting. *Brain and cognition*, *49*(3), 382–401.

297. Rinalducci, E. J., Mouloua, M., & Smither, J. A. (2003). *Cognitive and perceptual factors in aging and driving performance*.

298. Rizzo, M. ; S. (2003). Demographic and driving performance factors in simulator adaptation syndrome (p. 201‐208). PROCEEDINGS of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.

299. 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*, 218‐33.

300. Rogé, J., & Pébayle, T. (2009). Deterioration of the useful visual field with ageing during simulated driving in traffic and its possible consequences for road safety. *Safety Science*, *47*(9), 1271‑1276. http://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.03.012

301. Romoser, M. R. E. (2013). The long-term effects of active training strategies on improving older drivers' scanning in intersections: a two-year follow-up to Romoser and Fisher (2009). *Human Factors*, *55*(2), 278‑284.

302. Romoser, M. R. E., & Fisher, D. L. (2009). The effect of active versus passive training strategies on improving older drivers' scanning in intersections. *Human Factors*, *51*, 652‑68.

303. Ross, L. A., Edwards, J. D., O'Connor, M. L., Ball, K. K., Wadley, V. G., & Vance, D. E. (2015). The Transfer of Cognitive Speed of Processing Training to Older Adults' Driving Mobility Across 5 Years. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*. http://doi.org/10.1093/geronb/gbv022

304. Rotter, J. B. (1966). Generalized expectancies for internal versus external control of reinforcement. *Psychological Monographs: General and Applied*, *80*(1), 1 ‑ 28. http://doi.org/10.1037/h0092976

305. Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1987). Human aging: usual and successful. *Science*, *237*(4811), 143‑149. http://doi.org/10.1126/science.3299702

306. Rudman, D. L., Friedland, J., Chipman, M., & Sciortino, P. (2006). Holding on and letting go: the perspectives of pre-seniors and seniors on driving self-regulation in later life. *Canadian Journal on Aging = La Revue Canadienne Du Vieillissement*, *25*(1), 65‑76.

307. Ruechel, S., & Mann, W. C. (2005). Self-Regulation of Driving by Older Persons. *Physical & Occupational Therapy in Geriatrics*, *23*(2-3), 91‑101. http://doi.org/10.1080/J148v23n02_06

308. Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*(3), 403 ‑ 428. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.103.3.403

309. Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological psychology*, *54*(1), 35–54.

310. Samorajski, T. (1977). Central Neurotransmitter Substances and Aging: A Review. *Journal of the American Geriatrics Society*, *25*(8), 337 ‑ 348. http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1977.tb00657.x

311. Sanders, A. F. (1970). Some aspects of the selective process in the functional visual field. *Ergonomics*, *13*(1), 101‑117.

312. Sandlin, D., McGwin, G., & Owsley, C. (2014). Association Between Vision Impairment and Driving Exposure in Older Adults Aged 70 Years and Over: A Population-Based Examination. *Acta ophthalmologica*, *92*(3), e207‑e212. http://doi.org/10.1111/aos.12050

313. Satariano, W. A., Guralnik, J. M., Jackson, R. J., Marottoli, R. A., Phelan, E. A., & Prohaska, T. R. (2012). Mobility and Aging: New Directions for Public Health Action. *American Journal of Public Health*, *102*(8), 1508‑1515. http://doi.org/10.2105/AJPH.2011.300631

314. Saxena, S., Carlson, D., Billington, R., & Orley, J. (2001). The WHO quality of life assessment instrument (WHOQOL-Bref): the importance of its items for cross-cultural research. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, *10*(8), 711‑721.

315. Scarmeas, N., Levy, G., Tang, M. X., Manly, J., & Stern, Y. (2001). Influence of leisure activity on the incidence of Alzheimer's disease. *Neurology*, *57*(12), 2236‑2242.

316. Schaie, K. W. (1989). Perceptual speed in adulthood: cross-sectional and longitudinal studies. *Psychology and Aging*, *4*(4), 443‑453.

317. Scholz, U., Doña, B. G., Sud, S., & Schwarzer, R. (2002). Is general self-efficacy a universal construct? Psychometric findings from 25 countries. *European Journal of Psychological Assessment*, *18*(3), 242‑251. http://doi.org/10.1027//1015-5759.18.3.242

318. Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (1995). Generalized Self-Efficacy scale. In J. Weinman, S. Wright, & M. Johnston, *Measures in health psychology: A user's portfolio. Causal and control beliefs* (p. 35‑37). Windsor, UK: NFER-NELSON.

319. Scialfa, C., Ference, J., Boone, J., Tay, R., & Hudson, C. (2010). Predicting older adults' driving difficulties using the Roadwise Review. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *65*(4), 434 - 437. http://doi.org/10.1093/geronb/gbq032

320. Scialfa, C. T., Guzy, L. T., Leibowitz, H. W., Garvey, P. M., & Tyrrell, R. A. (1991). Age differences in estimating vehicle velocity. *Psychology and Aging*, *6*(1), 60‑66.

321. Sharkey, T. J., & McCauley, M. E. (1992). Does a motion base prevent simulator sickness? In *Flight Simulation Technologies Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.1992-4133

322. Sharma, K., & Aparna. (1997). Prevalence and correlates of susceptibility to motion sickness. *Acta Genet Med Gemellol (Roma)*, *46*, 105‑21.

323. Shechtman, O., Classen, S., Awadzi, K., & Mann, W. (2009). Comparison of driving errors between on-the-road and simulated driving assessment: a validation study. *Traffic Injury Prevention*, *10*(4), 379‑385. http://doi.org/10.1080/15389580902894989

324. Shumway-Cook, A., Ciol, M. A., Yorkston, K. M., Hoffman, J. M., & Chan, L. (2005). Mobility limitations in the Medicare population: prevalence and sociodemographic and clinical correlates. *Journal of the American Geriatrics Society*, *53*(7), 1217‑1221. http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53372.x

325. Shumway-Cook, A., Patla, A., Stewart, A., Ferrucci, L., Ciol, M. A., & Guralnik, J. M. (2003). Environmental components of mobility disability in community-living older persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, *51*(3), 393‑398.

326. Simoes, A. (2003). The cognitive training needs of older drivers. *Recherche - Transports - Sécurité*, *79–80*, 145‑155. http://doi.org/10.1016/s0761-8980(03)00012-8

327. Siren, A., Hjorthol, R., & Levin, L. (2015). Different types of out-of-home activities and well-being amongst urban residing old persons with mobility impediments. *Journal of Transport & Health*, *2*(1), 14‑21. http://doi.org/10.1016/j.jth.2014.11.004

328. Siren, A., & Meng, A. (2013). Older drivers' self-assessed driving skills, driving-related stress and self-regulation in traffic. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *17*, 88‑97. http://doi.org/10.1016/j.trf.2012.10.004

329. Skufca, L. (2008). *2007 AARP Driver Safety Program Course Evaluation* (p. 25). Washington, DC: AARP. http://www.aarp.org/home-garden/transportation/info-01-2008/dsp_07.html

330. Skyving, M., Berg, H.-Y., & Laflamme, L. (2009). Older drivers' involvement in fatal RTCs. Do crashes fatal to them differ from crashes involving them but fatal to others? *Safety Science*, *47*(5), 640‑646. http://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.09.001

331. Smart, L. J., Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2002). Visually induced motion sickness predicted by postural instability. *Human Factors*, *44*, 451‑65.

332. Smith, G. E., Housen, P., Yaffe, K., Ruff, R., Kennison, R. F., Mahncke, H. W., & Zelinski, E. M. (2009). A cognitive training program based on principles of brain plasticity: results from the Improvement in Memory with Plasticity-based Adaptive Cognitive Training (IMPACT) study. *Journal of the American Geriatrics Society*, *57*(4), 594 - 603. http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.02167.x

333. Sorel, O., & Pennequin, V. (2008). Aging of the Planning process: The role of executive functioning. *Brain and Cognition*, *66*(2), 196‑201. http://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.006

334. Sorenson, S., M. (2012). *The Neuropsychological Functioning of Older Adults Pre- and Post-Cognitive Training with a Brain Plasticity-Based Computerized Training Program* (Clinical Psychology). University of Massachusetts Boston, Boston.

335. Spreng, R. N., Wojtowicz, M., & Grady, C. L. (2010). Reliable differences in brain activity between young and old adults: A quantitative meta-analysis across multiple cognitive domains. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*(8), 1178 - 1194. http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2010.01.009

336. Stalvey, B. T., & Owsley, C. (2000). Self-perceptions and Current Practices of High-risk Older Drivers: Implications for Driver Safety Interventions. *Journal of Health Psychology*, *5*(4), 441‑456. http://doi.org/10.1177/135910530000500404

337. Stalvey, B. T., & Owsley, C. (2003). The development and efficacy of a theory-based educational curriculum to promote self-regulation among high-risk older drivers. *Health Promotion Practice*, *4*(2), 109‑119.

338. Stanney, K., Salvendy, G., Deisinger, J., DiZio, P., Ellis, S., Ellison, J., … Witmer, B. (1998). Aftereffects and sense of presence in virtual environments: formulation of a research and development agenda. *International Journal of Human Computer Interaction*, *10*, 135‑87. http://doi.org/10.1207/s15327590ijhc1002_3

339. Staplin, L., Lococo, K. H., Brooks, J. O., & Srinivasan, R. (2013). *Validation of Rehabilitation Training Programs for Older Drivers* (Final Report No. DOT HS 811 749) (p. 264). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

340. Staplin, L., Lococo, K. H., Martell, C., & Stutts, J. (2012). *Taxonomy of older driver behaviors and crash risk*. http://trid.trb.org/view.aspx?id=1214512

341. Stav, W. (2010). CarFit: an evaluation of behaviour change and impact. *The British Journal of Occupational Therapy*, *73*, 589‑597. http://doi.org/10.4276/030802210x12918167234208

342. Steinbüchel, N. von, Lischetzke, T., Gurny, M., & Eid, M. (2006). Assessing quality of life in older people: psychometric properties of the WHOQOL-BREF. *European Journal of Ageing*, *3*(2), 116‑122. http://doi.org/10.1007/s10433-006-0024-2

343. Stern, R. M., Jokerst, M. D., Muth, E. R., & Hollis, C. (2001). Acupressure relieves the symptoms of motion sickness and reduces abnormal gastric activity. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, *7*(4), 91‑94.

344. Stine-Morrow, E. A. L., Payne, B. R., Roberts, B. W., Kramer, A. F., Morrow, D. G., Payne, L., … Parisi, J. M. (2014). Training versus engagement as paths to cognitive enrichment with aging. *Psychology and Aging*, *29*(4), 891‑906. http://doi.org/10.1037/a0038244

345. Stoffregen, T. A., & Smart, L. J. (1998). Postural instability precedes motion sickness. *Brain Res Bull*, *47*, 437‑48.

346. Strain, S. (2003). Evaluation of the Effect of the Wiser Driver Course on Driving Behaviour and Road Safety (Vol. 1, p. 234‑243). Présenté à Road safety research, policing and education conference, Sydney, New South Wales, Australia.

347. Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643‑662. http://doi.org/10.1037/h0054651

348. 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*, 337‑46.

349. Sümer, N., Ozkan, T., & Lajunen, T. (2006). Asymmetric relationship between driving and safety skills. *Accident; Analysis and Prevention*, *38*(4), 703 - 711. http://doi.org/10.1016/j.aap.2005.12.016

350. Sundström, A. (2008). Self-assessment of driving skill–A review from a measurement perspective. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *11*(1), 1–9.

351. Sung, W.-H., Chiu, T.-Y., Tsai, W.-W., Cheng, H., & Chen, J.-J. (2012). The effect of virtual reality-enhanced driving protocol in patients following spinal cord injury. *Journal of the Chinese Medical Association: JCMA*, *75*(11), 600‑605. http://doi.org/10.1016/j.jcma.2012.08.004

352. Teasdale, N., Lavalliere, M., Tremblay, M., Simoneau, M., & Laurendeau, D. (2009). Multiple Exposition to a Driving Simulator Reduces Simulator Symptoms for Elderly Drivers. Présenté à Driving Assessment 2009: 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driving Assessment, Training and Vehicle Design. http://trid.trb.org/view.aspx?id=918419

353. The WHOQOL Group. (1993). Study protocol for the World Health Organization project to develop a Quality of Life assessment instrument (WHOQOL). *Quality of Life Research*, *2*(2), 153‑159. http://doi.org/10.1007/BF00435734

354. The WHOQOL Group. (1998). Development of the Wolrd Health Organisation WHOQOL-Bref QOL assessment. *Psychological Medicine*, *28*, 551‑559.

355. Törnros, J. (1998). Driving behavior in a real and a simulated road tunnel--a validation study. *Accident; Analysis and Prevention*, *30*(4), 497‑503.

356. Treisman, M. (1977). Motion sickness: an evolutionary hypothesis. *Science*, *197*, 493‑5.

357. Treitz, F. H., Heyder, K., & Daum, I. (2007). Differential course of executive control changes during normal aging. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, *14*(4), 370‑393. http://doi.org/10.1080/13825580600678442

358. Tuokko, H. A., Rhodes, R. E., & Dean, R. (2007). Health conditions, health symptoms and driving difficulties in older adults. *Age and Ageing*, *36*(4), 389 - 394. http://doi.org/10.1093/ageing/afm032

359. Ulleberg, P. (2006). *Evaluation of the « Drivers 65+ » refresher course for elderly drivers* (No. 841) (p. 48). Oslo: Transportøkonomisk institutt, TØI.

360. Unsworth, C. A., & Baker, A. (2014). Driver rehabilitation: a systematic review of the types and effectiveness of interventions used by occupational therapists to improve on-road fitness-to-drive. *Accident; Analysis and Prevention*, *71*, 106‑114. http://doi.org/10.1016/j.aap.2014.04.017

361. Vance, D. E., Heaton, K., Fazeli, P. L., & Ackerman, M. L. (2010). Aging, Speed of Processing Training, and Everyday Functioning: Implications for Practice and Research. *Activities, Adaptation & Aging*, *34*, 276‑291. http://doi.org/10.1080/01924788.2010.523867

362. Van Dyke, N., & Fillmore, M. T. (2014). Acute effects of alcohol on inhibitory control and simulated driving in DUI offenders. *Journal of Safety Research*, *49*, 5 - 11. http://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.02.004

363. Velicer, W. F., Rossi, J. S., Diclemente, C. C., & Prochaska, J. O. (1996). A criterion measurement model for health behavior change. *Addictive Behaviors*, *21*(5), 555‑584.

364. Verghese, J., Lipton, R. B., Katz, M. J., Hall, C. B., Derby, C. A., Kuslansky, G., … Buschke, H. (2003). Leisure activities and the risk of dementia in the elderly. *The New England Journal of Medicine*, *348*(25), 2508‑2516. http://doi.org/10.1056/NEJMoa022252

365. Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: a review of meta-analyses. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *26*(7), 849 - 857. http://doi.org/10.1016/S0149-7634(02)00071-4

366. Verster, J. C., van de Loo, A. J. A. E., & Roth, T. (2015). Mirtazapine as positive control drug in studies examining the effects of antidepressants on driving ability. *European Journal of Pharmacology*, *753*, 252‑256. http://doi.org/10.1016/j.ejphar.2014.10.032

367. Vorona, R. D., & Ware, J. C. (2002). Sleep disordered breathing and driving risk. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, *8*(6), 506‑510.

368. Wadley, V. G., Benz, R. L., Ball, K. K., Roenker, D. L., Edwards, J. D., & Vance, D. E. (2006). Development and evaluation of home-based speed-of-processing training for older adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *87*(6), 757 - 763. http://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.02.027

369. Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *26*(1), 15-20. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/a0020912

370. Webber, S. C., Porter, M. M., & Menec, V. H. (2010). Mobility in Older Adults: A Comprehensive Framework. *The Gerontologist*, gnq013. http://doi.org/10.1093/geront/gnq013

371. Wechsler, D. (1981). *WAIS-R Manual*. Cleveland: Psychological corporation.

372. Weinstein, N. D. (1988). The precaution adoption process. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *7*(4), 355-386.

373. Weinstein, N. D., Lyon, J. E., Sandman, P. M., & Cuite, C. L. (1998). Experimental evidence for stages of health behavior change: the precaution adoption process model applied to home radon testing. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *17*(5), 445-453.

374. Weinstein, N. D., & Sandman, P. M. (1992). A model of the precaution adoption process: evidence from home radon testing. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *11*(3), 170-180.

375. Weinstein, N. D., Sandman, P. M., & Blalock, S. J. (2008). The Precaution Adoption Process Model. In *Health Behavior and Health Education, 4th. ed* (p. 123-147). San Francisco: Karen Glanz, Barbara K. Rimer, and K. Viswanath (eds.). http://www.psandman.com/articles/PAPM.pdf

376. Wesley, A. D., Sayer, T. B., & Tengler, S. (2005). Can Sea Bands® be used to mitigate simulatore sickness? (p. 297-303). PROCEEDINGS of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.

377. Whelihan, W. M., DiCarlo, M. A., & Paul, R. H. (2005). The relationship of neuropsychological functioning to driving competence in older persons with early cognitive decline. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *20*(2), 217-228. http://doi.org/10.1016/j.acn.2004.07.002

378. Wilson, R. S., Barnes, L. L., Aggarwal, N. T., Boyle, P. A., Hebert, L. E., Mendes de Leon, C. F., & Evans, D. A. (2010). Cognitive activity and the cognitive morbidity of Alzheimer disease. *Neurology*, *75*(11), 990-996. http://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181f25b5e

379. Wilson, R. S., Mendes De Leon, C. F., Barnes, L. L., Schneider, J. A., Bienias, J. L., Evans, D. A., & Bennett, D. A. (2002). Participation in cognitively stimulating activities and risk of incident Alzheimer disease. *JAMA*, *287*(6), 742-748.

380. Wilson, R. S., Scherr, P. A., Schneider, J. A., Tang, Y., & Bennett, D. A. (2007). Relation of cognitive activity to risk of developing Alzheimer disease. *Neurology*, *69*(20), 1911 - 1920. http://doi.org/10.1212/01.wnl.0000271087.67782.cb

381. 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*, 480-90.

382. Wolinsky, F. D., Unverzagt, F. W., Smith, D. M., Jones, R., Stoddard, A., & Tennstedt, S. L. (2006). The ACTIVE Cognitive Training Trial and Health-Related Quality of Life: Protection That Lasts for 5 Years. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *61*(12), 1324-1329.

383. Wolinsky, F. D., Unverzagt, F. W., Smith, D. M., Jones, R., Wright, E., & Tennstedt, S. L. (2006). The Effects of the ACTIVE Cognitive Training Trial on Clinically Relevant Declines in Health-Related Quality of Life. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *61*(5), S281-S287.

384. Wong, I. Y., Smith, S. S., & Sullivan, K. A. (2012). The relationship between cognitive ability, insight and self-regulatory behaviors: findings from the older driver population. *Accident; Analysis and Prevention*, *49*, 316‑321. http://doi.org/10.1016/j.aap.2012.05.031

385. Wood, J. M., & Owsley, C. (2014). Gerontology Viewpoint: Useful Field of View Test. *Gerontology*, *60*(4), 315‑318. http://doi.org/10.1159/000356753

386. World Health Organization. (1996). WHOQOL-BREF : introduction, administration, scoring and generic version of the assessment : field trial version, December 1996. http://www.who.int/iris/handle/10665/63529

387. Yassuda, M. S., Wilson, J. J., & Mering, O. von. (1997). Driving cessation: The perspective of senior drivers. *Educational Gerontology: An International Quarterly*, *23*(6), 525–538.

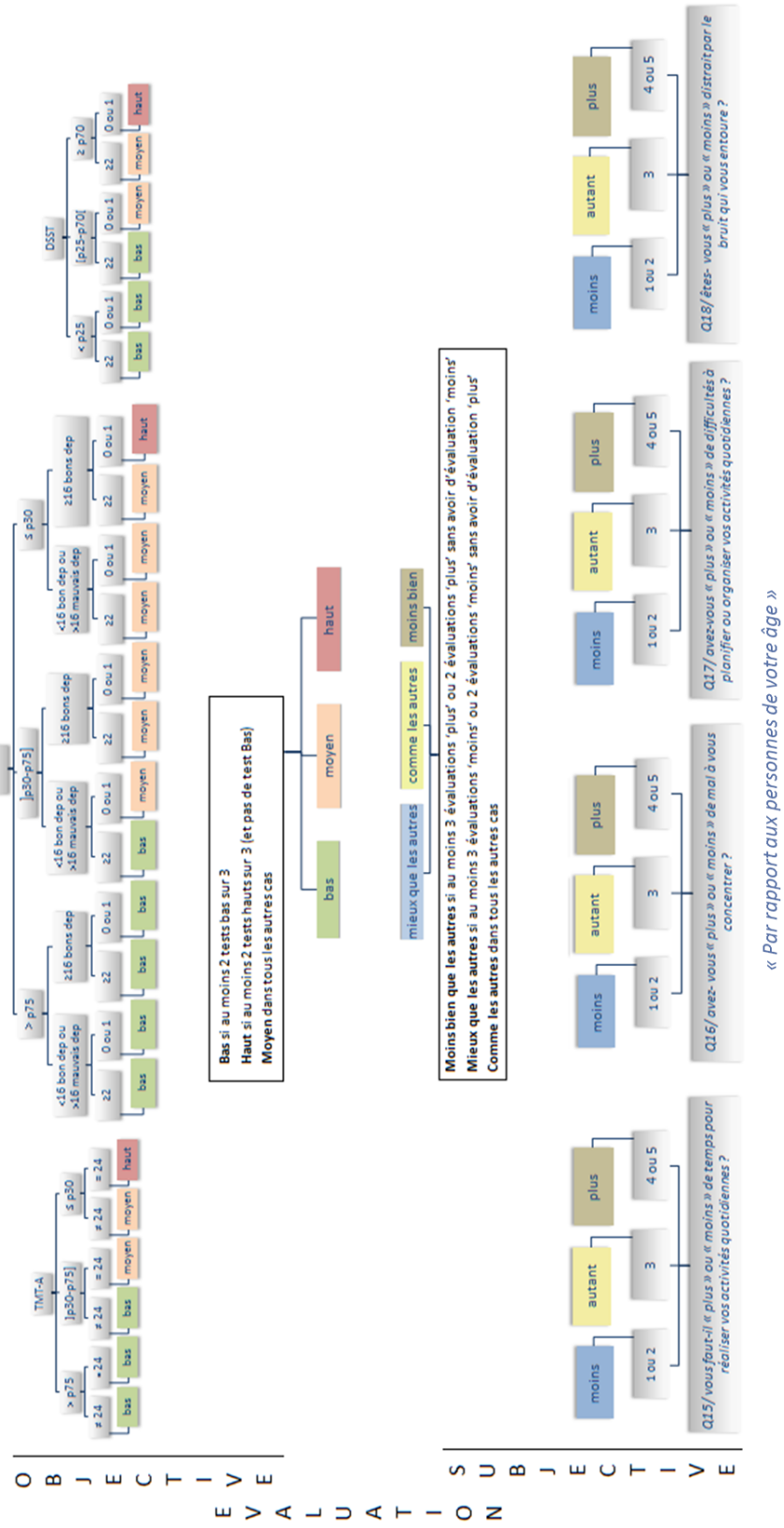
388. Yeom, H. A., Fleury, J., & Keller, C. (2008). Risk factors for mobility limitation in community-dwelling older adults: a social ecological perspective. *Geriatric Nursing (New York, N.Y.)*, *29*(2), 133‑140. http://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2007.07.002

389. Young, K. L., Stephens, A. N., Stephan, K. L., & Stuart, G. W. (2015). In the eye of the beholder: A simulator study of the impact of Google Glass on driving performance. *Accident; Analysis and Prevention*, *86*, 68‑75. http://doi.org/10.1016/j.aap.2015.10.010

390. Zimmermann, P., & Fimm, B. (1995). Test for attentional performance (TAP). *PsyTest, Herzogenrath*, 76–77.

ANNEXES

Annexe 1. Détails de la construction des différents profils de conducteurs



Adapté depuis Lafont, S., Mintsa-Eya, C., Coquillat, A., Paire-Ficout, L., Chavoix, C, Fabrigoule, C. (to be submitted). Relationship between personality and self-estimation of cognitive abilities in older drivers: results of the SAFE MOVE cohort. American Journal of Epidemiology.

Annexe 2. Formulaires de consentement, de cessation de droits à l'image et d'indémnisation

IFSTTAR
INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT LIBRE ET ÉCLAIRÉ - ENTRAINEMENT

(Établi en deux exemplaires, un pour le participant, un pour le responsable de la recherche.)

De Madame / Monsieur (Nom, Prénom) : .....
Adresse : .....

J'ai été invité(e) à participer à l'étude SAFEMOVE concernant le maintien de la mobilité à travers l'activité de conduite chez les personnes âgées de 70 ans ou . J'ai été libre d'accepter ou de refuser.

J'ai reçu et compris les informations suivantes : je vais participer à un programme destiné à accompagner les conducteurs seniors. Je devrais effectuer plusieurs tâches avec un expérimentateur qui me donnera des consignes au fur et à mesure, ces tâches étant effectuées à mon domicile ou à l'IFSTTAR.

Le but de cette étude est de tester l'efficacité de différents programmes d'accompagnement des conducteurs seniors. La nature de l'étude, son déroulement et ses contraintes m'ont été expliqués par les expérimentateurs. J'ai reçu une réponse satisfaisante à toutes les questions que j'ai pu poser librement à propos de celle-ci..

J'accepte de participer à cette étude dans les conditions précisées ci-dessus.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de l'étude de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Si je le désire, je suis libre à tout moment d'arrêter ma participation ; j'en informerai alors le responsable de l'étude.

Les données me concernant resteront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation et leur traitement informatique que par des personnes qui collaborent à l'étude. J'ai bien noté que le droit d'accès, prévu par loi n°78-17 du 6 Janvier 1978, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel (article 39), est applicable à tout moment (texte disponible auprès de Mme Gabaude C., responsable scientifique de l'étude).

Je percevrai une indemnité forfaitaire de 120 Euros, en compensation des contraintes et frais générés par ma participation à cette recherche. Dans le cas où je demanderais à mettre fin à ma participation avant la fin de l'expérimentation, cette indemnité serait calculée au prorata de la durée de ma participation.

Enfin, je suis au courant que l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) finance cette étude.

J'ai expliqué la nature et les contraintes de cette étude à Madame/Monsieur .....

Rév 23/10/13

Le Responsable de l'étude **Signature du volontaire**
Le .....

Siège : 14-20 bd Newton - Cité Descartes, Champs-sur-Marne - 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2
T. +33(0)1 81 66 80 00 – F. +33(0)1 81 66 80 01 – www.ifsttar.fr
Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique

IFSTTAR
INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT LIBRE ET ÉCLAIRÉ - LECTURE

(Établi en deux exemplaires, un pour le participant, un pour le responsable de la recherche.)

De Madame / Monsieur (Nom, Prénom) : .....
Adresse : .....

J'ai été invité(e) à participer à l'étude SAFEMOVE concernant le maintien de la mobilité à travers l'activité de conduite chez les personnes âgées de 70 ans et plus. J'ai été libre d'accepter ou de refuser.

J'ai reçu et compris les informations suivantes : je vais participer à un programme destiné à accompagner les conducteurs seniors. Je devrais effectuer plusieurs tâches avec un expérimentateur qui me donnera des consignes au fur et à mesure, ces tâches étant effectuées à mon domicile ou à l'IFSTTAR.

Le but de cette étude est de tester l'efficacité de différents programmes d'accompagnement des conducteurs seniors. La nature de l'étude, son déroulement et ses contraintes m'ont été expliqués par les expérimentateurs. J'ai reçu une réponse satisfaisante à toutes les questions que j'ai pu poser librement à propos de celle-ci.

J'accepte de participer à cette étude dans les conditions précisées ci-dessus.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de l'étude de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Si je le désire, je suis libre à tout moment d'arrêter ma participation ; j'en informerai alors le responsable de l'étude.

Les données me concernant resteront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation et leur traitement informatique que par des personnes qui collaborent à l'étude. J'ai bien noté que le droit d'accès, prévu par loi n°78-17 du 6 Janvier 1978, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel (article 39), est applicable à tout moment (texte disponible auprès de Mme Gabaude C., responsable scientifique de l'étude).

Je percevrai une indemnité forfaitaire de 120 Euros, en compensation des contraintes et frais générés par ma participation à cette recherche. Dans le cas où je demanderais à mettre fin à ma participation avant la fin de l'expérimentation, cette indemnité serait calculée au prorata de la durée de ma participation.

Enfin, je suis au courant que l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) finance cette étude.

Rév 23/10/13

J'ai expliqué la nature et les contraintes de cette étude à Madame/Monsieur .....

Le Responsable de l'étude **Signature du volontaire**
Le .....

Siège : 14-20 bd Newton - Cité Descartes, Champs-sur-Marne - 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2
T. +33(0)1 81 66 80 00 – F. +33(0)1 81 66 80 01 – www.ifsttar.fr
Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique

IFSTTAR
INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT LIBRE ET ÉCLAIRÉ - ROUTE

(Établi en deux exemplaires, un pour le participant, un pour le responsable de la recherche.)

De Madame / Monsieur (Nom, Prénom) : .....
Adresse : .....

J'ai été invité(e) à participer à l'étude SAFEMOVE concernant le maintien de la mobilité à travers l'activité de conduite chez les personnes âgées de 70 ans ou plus. J'ai été libre d'accepter ou de refuser.

J'ai reçu et compris les informations suivantes : je vais effectuer plusieurs tâches avec un expérimentateur qui me donnera des consignes au fur et à mesure. Puis, je vais effectuer une tâche de conduite sur route, en présence d'un moniteur d'auto-école assis à la place du passager et d'un expérimentateur placé derrière. Je suivrai les instructions du moniteur. Après la conduite quelques questions me seront adressées et je pourrai discuter de certaines situations rencontrées sur le parcours.

Les instructions de détail, concernant le déroulement du test, me seront fournies lors de celui-ci, par les personnes qui le mettront en œuvre. Le but de cette étude est de recueillir des informations sur l'activité de conduite auprès de différents échantillons de participants et de les comparer aux informations recueillies à l'aide des tests. La nature de l'étude, son déroulement et ses contraintes m'ont été expliqués par les expérimentateurs. J'ai reçu une réponse satisfaisante à toutes les questions que j'ai pu poser librement à propos de celle-ci.

J'accepte de participer à cette étude dans les conditions précisées ci-dessus.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de l'étude de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Si je le désire, je suis libre à tout moment d'arrêter ma participation ; j'en informerai alors le responsable de l'étude.

Les données me concernant resteront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation et leur traitement informatique que par des personnes qui collaborent à l'étude. J'ai bien noté que le droit d'accès, prévu par loi n°78-17 du 6 Janvier 1978, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel (article 39), est applicable à tout moment (texte disponible auprès de Mme Gabaude C., responsable scientifique de l'étude).

Je percevrai une indemnité forfaitaire de 60 Euros, en compensation des contraintes et frais générés par ma participation à cette recherche. Dans le cas où je demanderais à mettre fin à ma participation avant la fin de l'expérimentation, cette indemnité serait calculée au prorata de la durée de ma participation.

Enfin, je suis au courant que l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) finance cette étude.

J'ai expliqué la nature et les contraintes de cette étude à Madame/Monsieur .....

Le Responsable de l'étude **Signature du volontaire**
Le .....

Rév 23/10/13

IFSTTAR
INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

AUTORISATION D'UTILISATION D' IMAGE

Ifsttar de Lyon-Bron
25, avenue François Mitterrand,
Cité des mobilités
69675 Bron Cedex
☎ 04 72 14 23 00

Contacts :
Catherine Gabaude, responsable scientifique de l'étude
Marion Hay, expérimentateur
Nicolas ADAM, expérimentateur

Je soussigné(e) : .....

Demeurant : .....

.....

J'ai bien noté(e) que je suis filmé(e) dans le cadre du projet SAFEMOVE, organisé par l'IFSTTAR, portant sur le maintien de la mobilité à travers l'activité de conduite chez les personnes âgées de 70 ans ou plus auquel je participe à ce jour. J'autorise les expérimentateurs à utiliser mon image sans limitation de durée sur une photographie et/ou un support vidéo ou multimédia dans le cadre de communications relatives à cette étude.

Accord ☐ Désaccord ☐

Dans le cas où je donne mon accord, cette autorisation vaut, hors utilisations publicitaires (encarts et spots), pour[1] :

- Tous usage internes,
- Toute manifestation à caractère technologique, scientifique ou éducatif (y compris conférences, congrès, salons, expositions, « portes-ouvertes »),
- Des publications de presse écrite,
- Des diffusions dans la presse audiovisuelle (y compris émissions spécialisées),
- Des supports numériques en ligne ou hors ligne, CD-ROM ou CD photo.

Rév 23/10/13

Fait à : ..... Le : ...../...../.....

Signature précédée de la mention « *Bon pour accord*

[1] Rayer les mentions qui ne vous conviennent pas.

IFSTTAR

INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Safe Move for older drivers

FICHE D'INDEMNISATION - ENTRAÎNEMENT

SAFEMOVE for older drivers

Objet : Indemnisation des volontaires se prêtant à des recherches n'entrant pas dans le champ d'application de la loi N° 2004-801 du 9 aout 2004 modifiée, dite loi Huriet-Sérusclat.

Conformément à la décision de la Directrice Générale de l'IFSTTAR, il convient de verser des indemnités au sujet de recherche se prêtant à la dite recherche, soit :

Madame, Monsieur

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

D'un montant de : 120 euros (cent-vingt euros)

Cette indemnité est à prendre en charge sur le compte 11 MOC 6288 inscrit au budget.

(Nom et/ou N° du contrat : Safe Move J 11-36 SP2)

Le Responsable

Cité des mobilités
25 avenue F. Mitterrand
Case 24
69675 Bron Cedex

Gabaude Catherine
Docteur en neurosciences
Chargée de Recherche
Animateur d'axe
TS2 / LESCOT
Tél. : 33 (0) 4 72 14 24 50
Portable : 33 (0) 6 59 49 77 19
catherine.gabaude@ifsttar.fr

Rév 23/10/13

IFSTTAR

INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Safe Move for older drivers

FICHE D'INDEMNISATION - LECTURE

SAFEMOVE for older drivers

Objet : Indemnisation des volontaires se prêtant à des recherches n'entrant pas dans le champ d'application de la loi N° 2004-801 du 9 aout 2004 modifiée, dite loi Huriet-Sérusclat.

Conformément à la décision de la Directrice Générale de l'IFSTTAR, il convient de verser des indemnités au sujet de recherche se prêtant à la dite recherche, soit :

Madame, Monsieur

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

D'un montant de : 120 euros (cent-vingt euros)

Cette indemnité est à prendre en charge sur le compte 11 MOC 6288 inscrit au budget.

(Nom et/ou N° du contrat : Safe Move J 11-36 SP2)

Le Responsable

Cité des mobilités
25 avenue F. Mitterrand
Case 24
69675 Bron Cedex

Gabaude Catherine
Docteur en neurosciences
Chargée de Recherche
Animateur d'axe
TS2 / LESCOT
Tél. : 33 (0) 4 72 14 24 50
Portable : 33 (0) 6 59 49 77 19
catherine.gabaude@ifsttar.fr

Rév 23/10/13

IFSTTAR

INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Safe Move for older drivers

FICHE D'INDEMNISATION - ROUTE

SAFEMOVE for older drivers

Objet : Indemnisation des volontaires se prêtant à des recherches n'entrant pas dans le champ d'application de la loi N° 2004-801 du 9 aout 2004 modifiée, dite loi Huriet-Sérusclat.

Conformément à la décision de la Directrice Générale de l'IFSTTAR, il convient de verser des indemnités au sujet de recherche se prêtant à la dite recherche, soit :

Madame, Monsieur

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

D'un montant de : 60 euros (soixante euros)

Cette indemnité est à prendre en charge sur le compte 11 MOC 6288 inscrit au budget.

(Nom et/ou N° du contrat : Safe Move J 11-36 SP2)

Le Responsable

Cité des mobilités
25 avenue F. Mitterrand
Case 24
69675 Bron Cedex

Gabaude Catherine
Docteur en neurosciences
Chargée de Recherche
Animateur d'axe
TS2 / LESCOT
Tél. : 33 (0) 4 72 14 24 50
Portable : 33 (0) 6 59 49 77 19
catherine.gabaude@ifsttar.fr

Rév 23/10/13

Annexe 3. Questionnaire d'auto-évaluation des capacités cognitives

Identifiant :

QUESTIONNAIRE EN RAPPORT AUX EXERCICES COGNITIFS

Entourez la valeur correspondant au degré auquel vous estimez vos performances par rapport aux personnes de votre âge.

Exemple : Par rapport aux personnes de votre âge, êtes-vous « plus » ou « moins » rapide à lire le journal ?

Moins rapide — 1 — (2) — 3 — 4 — 5 — Plus rapide

Vous choisissez 2 si vous estimez que vous lisez moins vite que la moyenne des personnes de votre âge mais plus vite que les lecteurs les plus lents ayant votre âge.

---

1) *Par rapport aux personnes de votre âge, vous faut-il « plus » ou « moins » de temps pour réaliser vos activités quotidiennes ?*

Moins de temps — 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — Plus de temps

2) *Par rapport aux personnes de votre âge, avez- vous « plus » ou « moins » de mal à vous concentrer ?*

Moins de mal — 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — Plus de mal

3) Par rapport aux personnes de votre âge, avez-vous « plus » ou « moins » de difficultés à planifier ou organiser vos activités quotidiennes ?

Moins de mal — 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — Plus de mal

4) Par rapport aux personnes de votre âge, êtes- vous « plus » ou « moins » distrait par le bruit qui vous entoure ?

Moins distrait — 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — Plus distrait

IFSTTAR
NSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Grille d'Evaluation Pratique de la Compétence de Conduite
Brouwer et al. (2004)
Traduction française : LESCOT, 2009

Nom du patient : _____

Moniteur : _____

Date : ___/___/_____ Durée du test : _____

Circonstances particulières : _____

- Circonstances particulières sur la route : _____
  _____
- Moment de la journée : >Matin ❒ Après midi ❒
  >Période de pointe ❒ Hors heure de pointe ❒
- Condition météo. : _____
- Le test a-t-il été interrompu pour des raisons de sécurité ? Oui ❒ Non ❒
  - Si oui, pourquoi ?

_____
_____

Instructions générales :

- Chaque question comporte différents items qui doivent tous être classés dans une catégorie :
  - I = Insuffisant (1 point)
  - D = Douteux/médiocre (2 points)
  - S = Suffisant (3 points)
  - B = Bon (4 points)
  - NA = Non applicable

- Chaque question est suivie d'un espace réservé aux explications.
  - Toujours remplir cet espace lorsqu'un item est classé « insuffisant »

- Chaque évaluation d'item est basée sur un jugement général sur l'ensemble du parcours.

1. Position latérale sur la route

1.1. Quelle est la position latérale moyenne du véhicule sur la voie ?

[1] Trop à gauche par rapport au milieu de la voie
[2] Légèrement à gauche par rapport au milieu de la voie
[3] Positionnement correct
[2] Légèrement à droite par rapport au milieu de la voie
[1] Trop à droite par rapport au milieu de la voie

1.2. Stabilité de la trajectoire (oscillation volant et dérive) :

1.2.1. Sur route droite

Vitesse ≤ 50 km/h :	I	D	S	B	NA
Vitesse > 50 km/h :	I	D	S	B	NA

1.2.2. En virage

Vitesse ≤ 50 km/h :	I	D	S	B	NA
Vitesse > 50 km/h :	I	D	S	B	NA

1.2.3. Lors de mouvements de regard / de tête

Vitesse ≤ 50 km/h :	I	D	S	B	NA
Vitesse > 50 km/h :	I	D	S	B	NA

1.3. Evaluation du choix de file dans les situations suivantes :

Choix de file pour *aller tout droit*	I	D	S	B	NA
Choix de file pour *tourner à droite*	I	D	S	B	NA
Choix de file pour *tourner à gauche*	I	D	S	B	NA
Choix de file pour *les ronds-points*	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

Score échelle 1 = /43

2. Distances de sécurité

2.1. Comment évaluez-vous le style de suivi de véhicule du conducteur ?

[1] Distance de sécurité trop courte par rapport au véhicule précédant
[2] Distance de sécurité assez courte par rapport au véhicule précédant
[3] Distance de sécurité normale par rapport au véhicule précédant
[2] Distance de sécurité assez longue par rapport au véhicule précédant
[1] Distance de sécurité trop longue par rapport au véhicule précédant

2.2. Comment évaluez-vous l'adaptation des distances de sécurité en fonction de la vitesse des véhicules devant ?

En ville	I	D	S	B	NA
Sur autoroute	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Score échelle 2 = /11

3. Vitesse

3.1. Comment évaluez-vous le conducteur par rapport à ses choix de vitesse ?

[1] Trop rapide
[2] Rapide
[3] Bonne adaptation de la vitesse
[2] Lent
[1] Trop lent

3.2. Comment évaluez-vous l'adaptation de la vitesse en fonction des circonstances ?

En ville	I	D	S	B	NA
Sur autoroute	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

Score échelle 3 = /11

4. Exploration visuelle

(Mouvements de la tête et des yeux, contacts visuels avec les autres usagers)

4.1. En général

En allant tout droit	I	D	S	B	NA
A un croisement avec une route équivalente	I	D	S	B	NA
A un croisement avec une route principale	I	D	S	B	NA
A un croisement pour tourner à droite	I	D	S	B	NA
A un croisement pour tourner à gauche	I	D	S	B	NA
En virage	I	D	S	B	NA

Utilisation du rétroviseur intérieur	I	D	S	B	NA
Utilisation du rétroviseur extérieur	I	D	S	B	NA
Vérification de l'angle mort	I	D	S	B	NA

4.2. Regards d'anticipation

Dans un changement de situation routière	I	D	S	B	NA
Dans un changement de situation de trafic	I	D	S	B	NA

4.3. Qualité des regards à gauche et à droite ?

Evénements dans le champ visuel droit	I	D	S	B	NA
Evénements dans le champ visuel gauche	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Score échelle 4 = /52

5. Signalisation

(Feux de signalisation et panneaux)

Le conducteur perçoit-il bien les signaux (feux et panneaux) et y-répond-il de façon adaptée ?

Perception	I	D	S	B	NA
Réaction	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Score échelle 5 = /8

6. Dépassement

Dépassement sur route à double sens si le cas se présente.

Perception de l'environnement et jugement	I	D	S	B	NA
Réalisation de la manœuvre de dépassement	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

Score échelle 6 = /8

7. Anticipation

(Comportement d'anticipation tactique, par exemple : ralentir lorsqu'un piéton approche d'un passage piéton)

Comment évaluez-vous le comportement d'anticipation du conducteur ?

En fonction des changements de situation routière	I	D	S	B	NA
En fonction des changements de situation de trafic	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Score échelle 7 = /8

8. Communication

Communication avec les autres usagers et adaptation du comportement en fonction des autres usagers

Communication avec les autres conducteurs (le cas échéant)	I	D	S	B	NA
Communication avec les piétons et/ou cyclistes (le cas échéant)	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Score échelle 8 = /8

9. Evaluation en situations particulières

A. Le tourne à gauche

Tourner à gauche et s'insérer sur une voie principale avec trafic assez important et qui a la priorité (pas de feux de signalisation)

A l'approche de l'intersection :					
Adaptation de la vitesse	I	D	S	B	NA
Utilisation des rétros et vérification de l'angle mort	I	D	S	B	NA
Utilisation des clignotants	I	D	S	B	NA
Positionnement sur la route	I	D	S	B	NA
Regards (mouvements de tête)	I	D	S	B	NA
Efficacité de l'observation (voit effectivement les autres usagers)	I	D	S	B	NA

A l'intersection :					
Positionnement sur la route	I	D	S	B	NA
Regards (mouvements de tête)	I	D	S	B	NA
Efficacité de l'observation (voit effectivement les autres usagers)	I	D	S	B	NA
Application des règles de priorité	I	D	S	B	NA
Rapidité et fluidité dans la perception et les actions	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

Score échelle 9A = /44

B. Insertion dans le trafic (sur autoroute/voie expresse)

Adaptation de la vitesse dans la voie d'accélération	I	D	S	B	NA
Regards sur les côtés	I	D	S	B	NA
Adaptation de la vitesse en fonction du trafic	I	D	S	B	NA
Clignotants	I	D	S	B	NA
Insertion dans le trafic sur la voie principale	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

Score échelle 9B = /20

C. Sortie autoroute/voie expresse

Adaptation de la vitesse dans la voie de décélération	I	D	S	B	NA
Regards sur les côtés	I	D	S	B	NA
Adaptation de la vitesse en fonction du trafic	I	D	S	B	NA
Clignotants	I	D	S	B	NA

Score échelle 9C = /16

Score échelle 9 = /80

10. Opérations mécaniques

(Fluidité et planification de l'utilisation des commandes du véhicule)

Utilisation de l'accélérateur	I	D	S	B	NA
Utilisation des freins	I	D	S	B	NA
Mouvements du volant	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

Score échelle 10 = /12

11. Impressions générales

Capacités de conduite en général	I	D	S	B	NA
Maniement de la voiture	I	D	S	B	NA
Perception et compréhension du trafic	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

Score échelle 11 = /12

Conclusions

Score total : _____ /253

Ou score total : _____/ ____ Rapporter ce score au total des items évalués si un ou plusieurs items n'a pas pu être évalué

Score /100 : _____/ 100

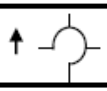
Score de compensation tactique = score 1 : ___ + Score 9A : ___ = ____

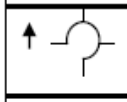
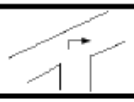
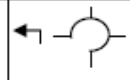
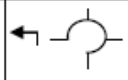
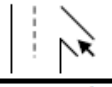
Annexe 5. Grille d'observation du comportement de conduite pour le parcours initial

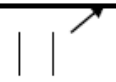
Date : Identifiant : Expé :	Zones Comportements	1 entrée	2 sortie	3	4 Changement de voie	5	6 Suivi périph	7	8
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros		O		O	O	O		
	Angles morts		O		O	O	O		
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux	CP		F		F	C P	F	F
interaction	clignotant	O	O		O	O	O		
	Cycliste/piéton								
	Autres véhicules	O	O		O		O		
	Voie d'insertion/ changement de voie		O		O	O			
planification	A besoin de demander/hésite								
	Suivi de direction	O	O		O	O	O		
	Choix de file	O	O		O	O	O		
	Prise de décision								
position	Trop à droite								
	Trop à gauche								
	Distance de sécurité								
	Stabilité positionnement								
Adaptation de la vitesse	Trop élevée								
	lente								
	Freinage tardif								
	Freinage injustifié								
	Saccadée/irrégulière								
Maniement commandes	volant								
	pédales								
	Régime du moteur								
	Boite de vitesse								
Intervention moniteur	freins								
	volant								
	Boite de vitesse								
	Orale à son initiative								
	Arrêt sur la voie								
commentaires									

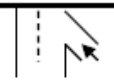
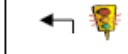
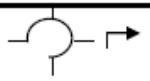
	Zones	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		←	→	←	↑	←	| |	↑	↑ X2	→
	Comportements						Zone 30 ralentisseurs			
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros		O							O
	Angles morts									
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux			F	F	F		F	F	O
interaction	clignotant	O	O	O		O				O
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules	O		O		O				
	Voie d'insertion/ changement de voie									
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction	O	O	O		O				
	Choix de file	O		O		O				
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

	Zones	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		←	→	| |	| |	→ 🚦	| |	← 🚦	←	| |
	Comportements	Suivi résidence		Radar pédagogique	Zone 30		Prépa TAG			
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Contrôle rétros						O			
	Angles morts						O			
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux		C P			F		F		
interaction	clignotant	O	O			O		O	O	
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules							O	O	
	Voie d'insertion/ changement de voie	O	O							
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction	O	O			O		O	O	
	Choix de file					O	O	O		
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

	Zones	27	28	29	30	31	32	33	34	35
										
	Comportements		Piste cyclable + prio à droite	école				1ere priorité à droite	2eme priorité à droite	
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros									
	Angles morts									
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux	O	P a D		C P	C P		P a D	P a D	F
interaction	clignotant	O			O	O	O			
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie									
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction	O			O	O				
	Choix de file		O		O					
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

	Zones	36	37	38	39	40	41	42	43	44
										
	Comportements		CP	Insertion périph	Sortie porte x luiset	Suivi à gauche	Marseille/ Grenoble		Insertion périph	radar
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros			O	O				O	
	Angles morts			O			O		O	
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux	C P	C P			C P	C P		C P	
interaction	clignotant	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules								O	
	Voie d'insertion/ changement de voie			O	O				O	
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction			O	O		O		O	O
	Choix de file			O			O			
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

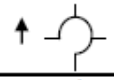
	Zones	45	46	47	48	49	50	51	52	53
										
	Comportements	Suivi grenoble	Multi voies Bron terraillon	Suivi Grenoble	Virage gauche		Suivi Grenoble	Sortie Porte des Alpes/Chassieu	Sortie Porte des Alpes/Chassieu	Virage droite
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros			O				O	O	
	Angles morts			O				O	O	
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux									
interaction	clignotant			O				O	O	
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie			O			O	O	O	
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction	O	O	O			O	O	O	
	Choix de file	O	O	O				O		
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

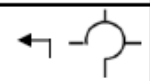
	Zones	54	55	56	57	58	59	60	61	62
										créneau
	Comportements		Suivi 7 chemins			Entrée ZAC du Chêne	Ralentisseurs zone 30	Suivi Cité des mobilités	Arrivée à l'IFSTTAR	
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Contrôle rétros	O								
	Angles morts	O								
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux		F		F	F				
interaction	clignotant	O			O	O		O	O	
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie	O								
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction	O	O		O	O		O		
	Choix de file				O	O				
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

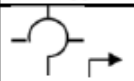
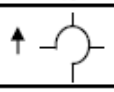
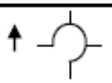
Annexe 6. Grille d'observation du comportement de conduite pour le parcours final

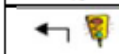
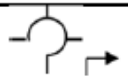
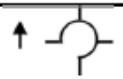
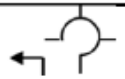
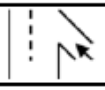
Date : Identifiant : Expé :	Zones Comportements	1 Sortie cité des mobilités	2 RP Parc du Chêne	3 Feu dans le RP	4	5 X2	6 Av. Maréchal de Lattre de T.	7	8 PàD
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros	O	O	O			O	O	
	Angles morts		O						
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux	CP	CP	F	F	F	F	F	PàD
interaction	clignotant	O	O	O			O	O	
	Cycliste/piéton								
	Autres véhicules								
	Voie d'insertion/ changement de voie								
planification	A besoin de demander/hésite								
	Suivi de direction	O	O				O	O	
	Choix de file						O		
	Prise de décision								
position	Trop à droite								
	Trop à gauche								
	Distance de sécurité								
	Stabilité positionnement								
Adaptation de la vitesse	Trop élevée								
	lente								
	Freinage tardif								
	Freinage injustifié								
	Saccadée/irrégulière								
Maniement commandes	volant								
	pédales								
	Régime du moteur								
	Boite de vitesse								
Intervention moniteur	freins								
	volant								
	Boite de vitesse								
	Orale à son initiative								
	Arrêt sur la voie								
commentaires									

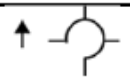
	Zones	9	10	11	12	13	14	15	16	17
										X3
	Comportements	PàD		(av. F. Roosevelt)		(Casino)	Radar Pédago	Ecole Zone 30 Ralentisseurs		
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros		O	O		O			O	
	Angles morts									
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux	PàD		F	F	F			CP	F
interaction	clignotant		O	O		O			O	
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie									
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction		O	O		O			O	
	Choix de file					O				
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

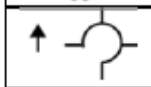
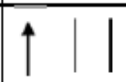
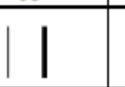
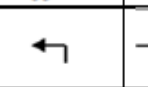
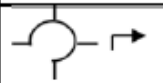
	Zones	18	19	20	21	22	23	24	25	26
										
	Comportements	Changement de voie (bus)	(Université)						Se placer à D pour TàD	CP avant le TàD
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros	O	O	O	O		O		O	
	Angles morts	O	O	O					O	
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux		CP	F Chgmt voie	F		F		F	CP
interaction	clignotant		O	O	O		O		O	O
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie								O	
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction			O	O		O		O	O
	Choix de file	O		O			O		O	
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

	Zones	27	28	29	30	31	32	33	34	35
										
	Comportements	Chambéry Grenoble			Entrée périph	PàD	Ins° périph	Marseille	Marseille	Saint Priest Bel Air
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros	O		O	O	O	O	O	O	O
	Angles morts			O		O	O			O
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux		F	CP	CP	PàD	CP			CP
interaction	clignotant			O	O	O	O	O		O
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie									
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction	O		O			O	O		O
	Choix de file	O		O				O		O
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

	Zones	36	37	38	39	40	41	42	43	44
										
	Comportements	Saint Priest Bel Air (sortie 11)		Entrée agglo Passage surélevé	Les Marendiers	Marendiers	Marendiers		Ecole Zone 30 Ralentisseurs	Lyon
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros		O		O			O	O	O
	Angles morts							O		O
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux		CP		CP	CP	CP			F
interaction	clignotant		O		O	O	O	O		O
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie							O		
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction	O			O			O		O
	Choix de file				O			O		O
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

	Zones	45	46	47	48	49	50	51	52	53
										
	Comportements	Lyon	Zone 30 Ralentisseurs				Zone 30 Pass.surélevé			Lyon
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros	O		O		O		O		O
	Angles morts					O		O	O	O
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux	F PàD		CP	CP	CP		CP	PàD	
interaction	clignotant	O		O	O	O		O		
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie									O
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction	O		O		O		O		O
	Choix de file	O		O		O		O		O
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

	Zones	54	55	56	57	58	59	60	61	62
										
	Comportements				Sortie Bron Aviation	Sortie Bron Aviation			Bron Aviation	Parc Aviation
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Contrôle rétros		O	O	O	O	O		O	O
	Angles morts			O		O	O			
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux			CP			CP	F	CP	Chgmt voie
interaction	clignotant		O	O	O	O	O		O	O
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie		O	O		O				
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction		O	O	O	O	O		O	O
	Choix de file	O	O		O	O				O
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

	Zones	63	64	65	66	67	68	69	70	71
										Créneau
	Comportements				Parc du Chêne	Entrée ZAC du Chêne	Zone 30 Ralentisseurs	Cité des Mobilités	Arrivée à l'IFSTTAR	
Attention visuelle	Exploration visuelle	O	O	O	O	O	O	O	O	
	Contrôle rétros		O			O				
	Angles morts									
Respect signalisation	Signalisation/marquage au sol/feux	CP	CP	CP	F	F			CP	
interaction	clignotant	O	O			O		O	O	
	Cycliste/piéton									
	Autres véhicules									
	Voie d'insertion/ changement de voie									
planification	A besoin de demander/hésite									
	Suivi de direction				O			O		
	Choix de file					O				
	Prise de décision									
position	Trop à droite									
	Trop à gauche									
	Distance de sécurité									
	Stabilité positionnement									
Adaptation de la vitesse	Trop élevée									
	lente									
	Freinage tardif									
	Freinage injustifié									
	Saccadée/irrégulière									
Maniement commandes	volant									
	pédales									
	Régime du moteur									
	Boite de vitesse									
Intervention moniteur	freins									
	volant									
	Boite de vitesse									
	Orale à son initiative									
	Arrêt sur la voie									
commentaires										

Annexe 7. Questionnaire d'évaluation de la qualité de vie WHOQOL-Bref (World Health Organisation Quality of Life – Bref)

WHOQOL-BREF

Date : ……..... Nom : ..... Prénom : .....

CONSIGNE

Les questions suivantes expriment des sentiments sur ce que vous éprouvez actuellement. Aucune réponse n'est juste, elle est avant tout personnelle.

		Très faible	faible	ni faible ni bonne	bonne	très bonne
1	Comment évaluez-vous votre qualité de vie ?	☐	☐	☐	☐	☐

		très insatisfait(e)	insatisfait(e)	ni satisfait(e) ni insatisfait(e)	satisfait(e)	très satisfait(e)
2	Etes-vous satisfait(e) de votre santé ?	☐	☐	☐	☐	☐

		Pas du tout	un peu	modérément	beaucoup	extrêmement
3	La douleur physique vous empêche t'elle de faire ce dont vous avez envie ?	☐	☐	☐	☐	☐
4	Avez-vous besoin d'un traitement médical quotidiennement ?	☐	☐	☐	☐	☐
5	Aimez-vous votre vie ?	☐	☐	☐	☐	☐
6	Estimez-vous que votre vie a du sens ?	☐	☐	☐	☐	☐
7	Etes-vous capable de vous concentrer ?	☐	☐	☐	☐	☐
8	Vous sentez-vous en sécurité dans votre vie quotidienne ?	☐	☐	☐	☐	☐
9	Vivez-vous dans un environnement sain ?	☐	☐	☐	☐	☐
10	Avez-vous assez d'énergie dans votre vie quotidienne ?	☐	☐	☐	☐	☐
11	Acceptez-vous votre apparence physique ?	☐	☐	☐	☐	☐
12	Avez-vous assez d'argent pour satisfaire vos besoins ?	☐	☐	☐	☐	☐
13	Avez-vous accès aux informations nécessaires pour votre vie quotidienne ?	☐	☐	☐	☐	☐
14	Avez-vous souvent l'occasion de pratiquer des loisirs ?	☐	☐	☐	☐	☐

		très difficilement	difficilement	assez facilement	facilement	très facilement
15	Comment arrivez-vous à vous déplacer ?	☐	☐	☐	☐	☐

		très insatisfait(e)	insatisfait(e)	ni satisfait(e) ni insatisfait(e)	satisfait(e)	très satisfait(e)
16	Etes-vous satisfait(e) de votre sommeil ?	☐	☐	☐	☐	☐
17	Etes-vous satisfait(e) de votre capacité à effectuer les tâches de la vie quotidienne ?	☐	☐	☐	☐	☐

		très insatisfait(e)	insatisfait(e)	ni satisfait(e) ni insatisfait(e)	satisfait(e)	très satisfait(e)
18	Etes-vous satisfait(e) de votre capacité à effectuer votre activité professionnelle ?	☐	☐	☐	☐	☐
19	Etes-vous satisfait(e) de vous ?	☐	☐	☐	☐	☐
20	Etes-vous satisfait(e) de vos relations avec les autres ?	☐	☐	☐	☐	☐
21	Etes-vous satisfait(e) de votre vie sexuelle ?	☐	☐	☐	☐	☐
22	Etes-vous satisfait(e) du soutien de vos amis ?	☐	☐	☐	☐	☐
23	Etes-vous satisfait(e) de votre lieu de vie ?	☐	☐	☐	☐	☐
24	Etes-vous satisfait(e) de votre accès aux services de santé ?	☐	☐	☐	☐	☐
25	Etes-vous satisfait(e) de votre moyen de transport ?	☐	☐	☐	☐	☐

		jamais	parfois	assez souvent	très souvent	tout le temps
26	Avez-vous souvent des sentiments négatifs tels que la mélancolie, le désespoir, l'anxiété ou la dépression ?	☐	☐	☐	☐	☐

Annexe 8. Table de conversion des scores bruts en scores transformés de la WHOQOL-Bref

DOMAIN 1		
Raw Score	Trasnformed scores	
	4-20	0-100
7	4	0
8	5	6
9	5	6
10	6	13
11	6	13
12	7	19
13	7	19
14	8	25
15	9	31
16	9	31
17	10	38
18	10	38
19	11	44
20	11	44
21	12	50
22	13	56
23	13	56
24	14	63
25	14	63
26	15	69
27	15	69
28	16	75
29	17	81
30	17	81
31	18	88
32	18	88
33	19	94
34	19	94
35	20	100

DOMAIN 2		
Raw score	Trasnformed scores	
	4-20	0-100
6	4	0
7	5	6
8	5	6
9	6	13
10	7	19
11	7	19
12	8	25
13	9	31
14	9	31
15	10	38
16	11	44
17	11	44
18	12	50
19	13	56
20	13	56
21	14	63
22	15	69
23	15	69
24	16	75
25	17	81
26	17	81
27	18	88
28	19	94
29	19	94
30	20	100

DOMAIN 3		
Raw score	Transformed scores	
	4-20	0-100
3	4	0
4	5	6
5	7	19
6	8	25
7	9	31
8	11	44
9	12	50
10	13	56
11	15	69
12	16	75
13	17	81
14	19	94
15	20	100

DOMAIN 4		
Raw score	Transformed scores	
	4-20	0-100
8	4	0
9	5	6
10	5	6
11	6	13
12	6	13
13	7	19
14	7	19
15	8	25
16	8	25
17	9	31
18	9	31
19	10	38
20	10	38
21	11	44
22	11	44
23	12	50
24	12	50
25	13	56
26	13	56
27	14	63
28	14	63
29	15	69
30	15	69
31	16	75
32	16	75
33	17	81
34	17	81
35	18	88
36	18	88
37	19	94
38	19	94
39	20	100
40	20	100

Extrait de (World Health Organization, 1996)

Echelle d'auto-efficacité généralisée

Code de confidentialité :_____

Merci de lire attentivement chaque phrase et de mettre une croix dans la colonne qui vous décrit le mieux.

	Pas du tout vrai 1	A peine vrai 2	Moyenne-ment vrai 3	Totalement vrai 4
1. Je peux arriver toujours à résoudre mes difficultés si j'essaie assez fort				
2. Si quelqu'un s'oppose à moi, je peux trouver une façon pour obtenir ce que je veux				
3. C'est facile pour moi de maintenir mon attention sur mes objectifs et accomplir mes buts				
4. J'ai confiance que je peux faire face efficacement aux évènements inattendus				
5. Grâce à ma débrouillardise, je sais comment faire face aux situations imprévues				
6. Je peux résoudre la plupart de mes problèmes si j'investis les efforts nécessaires				
7. Je peux rester calme lorsque je suis confrontée à des difficultés car je peux me fier à mes habiletés pour faire face aux problèmes				
8. Lorsque je suis confrontée à un problème, je peux habituellement trouver plusieurs solutions				
9. Si je suis « coincé », je peux habituellement penser à ce que je pourrais faire				
10. Peu importe ce qui arrive, je suis capable d'y faire face généralement				

Annexe 10. Questionnaire de l'autonomie psychologique

Numéro de code:_____

QUESTIONNAIRE
DE L'AUTONOMIE PSYCHOLOGIQUE

DUBÉ, M. et LAMY, L.
Laboratoire de Gérontologie
U.Q.T.R.

Ce questionnaire porte sur les divers aspects de l'autonomie dans votre vie quotidienne. Nous vous demandons d'indiquer la fréquence avec laquelle vous réagissez comme ce qui est décrit à l'aide de l'échelle ci-dessous.

Vous devez inscrire le chiffre qui correspond à votre réponse dans le carré qui apparaît à la droite de l'énoncé. Pour vous faciliter la tâche, l'échelle sera reproduite en haut de chaque page.

1	2	3	4	5
jamais	rarement	parfois	habituellement	toujours

Questions

1. Je suis satisfait(e) des actions que je pose. ☐ 01
2. J'agis selon mon caractère. ☐ 02
3. Je choisis des activités qui vont m'aider à garder ma forme intellectuelle. ☐ 03
4. Je préfère faire moi-même toutes les choses qui me sont possible. ☐ 04
5. J'aime entrer en relation avec de nouvelles personnes. ☐ 05
6. Dans mes agirs, je tiens compte des limites qu'impose la vie en société. ☐ 06

Numéro de code:_____

1	2	3	4	5
jamais	rarement	parfois	habituellement	toujours

7. Je veux choisir moi-même mes activités. ☐ 07
8. Je fais des activités qui me permettent d'exercer ma mémoire. ☐ 08
9. Ma façon d'agir correspond bien à mon caractère. ☐ 09
10. Mes choix et mes décisions en disent beaucoup sur ma personnalité et sur mon caractère. ☐ 10
11. Face à une difficulté physique, je cherche à développer de nouveaux moyens pour continuer à accomplir mes tâches. ☐ 11
12. Il est important de tenir compte de mes sentiments pour prendre une décision. ☐ 12
13. Je fais des activités qui m'aident à garder ma forme physique. ☐ 13
14. Je me fie sur ce que je ressens pour prendre une décision. ☐ 14
15. Quand je prends une décision, je tiens compte des possibilités du milieu dans lequel je suis. ☐ 15
16. Je choisis des occasions qui permettent d'établir des relations plus profondes. ☐ 16
17. Je participe à des activités qui me permettent de rencontrer des gens. ☐ 17

Numéro de code:_____

1	2	3	4	5
jamais	rarement	parfois	habituellement	toujours

18. Je me préoccupe des autres tout en poursuivant mes propres intérêts. ☐ 18

19. Je choisis des activités qui m'apprennent des choses nouvelles. ☐ 19

20. Je choisis des activités où je peux connaître de nouvelles personnes. ☐ 20

21. Je fais des activités qui vont me garder alerte intellectuellement. ☐ 21

22. J'agis selon mes sentiments. ☐ 22

23 Quand je pose une action, je respecte l'environnement dans lequel je suis. ☐ 23

24. C'est important pour moi de réaliser ce que j'ai décidé. ☐ 24

25. Mes choix et mes décisions reflètent généralement la personne que je suis. ☐ 25

26. Je veux prendre moi-même mes décisions. ☐ 26

27. Je décide de faire tout ce qui m'est physiquement possible de faire. ☐ 27

28. Je choisis des activités qui vont m'aider à garder ma forme physique. ☐ 28

Annexe 11. Compilation des différents items du questionnaire de l'autonomie psychologique

La Compilation du Questionnaire d'Autonomie Psychologique (QAP)

Le grand total d'autonomie psychologique s'obtient soit en additionnant les résultats aux deux dimensions ou aux trois facteurs, soit en compilant tous les items. Les normes du niveau d'autonomie psychologique pour une clientèle âgée à domicile sont: faible = 85 à 105, moyen = 106 à 126, fort = 128 à 140. Le contrôle décisionnel s'évalue pour la dynamique de l'individu par les questions 10 + 25 (perception de soi, soit l'aspect cognitif), 12 + 14 (ressenti intérieur, soit l'aspect émotif), 7 + 26 (motivation, soit la volonté); pour les capacités, par les questions 27 + 28 (physiques), 3 + 19 (cognitives), 16 + 20 (sociales) ; l'intégration sociale, par les questions 15 + 18. Le contrôle comportemental pour la dynamique de l'individu, par les questions 2 + 9 (perception de soi, soit l'aspect cognitif), 1 + 22 (ressenti intérieur, soit l'aspect émotif), 4 + 24 (motivation, soit la volonté) ; pour les capacités, par les questions 11 + 13 (physiques), 8 + 21 (cognitives), 5 + 17 (sociales) ; l'intégration sociale, par les questions 6 + 23. Les questions évaluant la dynamique de l'individu sont : 2 + 9 +10 + 25 (perception de soi, soit l'aspect cognitif) ; 1 + 12 + 14 + 22 (ressenti intérieur, soit l'aspect émotif) ; 4 + 7 + 24 + 26 (motivation, soit la volonté). Les capacités sont évaluées par les questions suivantes : 11 + 13 + 27 + 28 (physiques) ; 3 + 8 + 19 + 21 (cognitives), 5 + 16 + 17 + 20 (sociales). L'intégration sociale est évaluée par les questions suivantes : 6 + 15 + 18 + 23.

Extrait de (Galarneau, 1999, p110)