



**HAL**  
open science

## L'immersion sur simulateur de conduite accroît-elle les bénéfices d'un entraînement cognitif dédié aux conducteurs seniors ? Présentation méthodologique

Marion Hay, Nicolas Adam, Daniel Ndiaye, Bertrand Richard, Marie-Laure Bocca, Catherine Gabaude

### ► To cite this version:

Marion Hay, Nicolas Adam, Daniel Ndiaye, Bertrand Richard, Marie-Laure Bocca, et al.. L'immersion sur simulateur de conduite accroît-elle les bénéfices d'un entraînement cognitif dédié aux conducteurs seniors ? Présentation méthodologique. RTS. Recherche, transports, sécurité, 2015, Conducteurs âgés, 2014 (04), pp.245-256. 10.4074/S0761898014004038 . hal-01367580

**HAL Id: hal-01367580**

**<https://hal.science/hal-01367580v2>**

Submitted on 8 Feb 2018

**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.

# L'immersion sur simulateur de conduite accroît-elle les bénéfices d'un entraînement cognitif dédié aux conducteurs seniors ? Présentation méthodologique

## Is driving simulator experience efficient to enhance cognitive training benefits among older drivers? Methodological presentation

Marion Hay · Nicolas Adam · Daniel Ndiaye · Bertrand Richard · Marie-Laure Bocca · Catherine Gabaude

© IFSTTAR et Éditions NecPlus 2014

**Résumé** Maintenir l'autonomie des seniors dans des conditions sûres est un enjeu de santé publique. Une auto-estimation correcte des capacités cognitives par les seniors permettrait de réguler correctement la conduite automobile en termes d'exposition au risque d'accident et de

---

Marion Hay (✉)  
IFSTTAR-TS2-LESCOT,  
25 avenue François Mitterrand, case 24  
Université de Lyon, F-69000 Lyon, France  
69675, Bron cedex, France  
e-mail : marion.hay@ifsttar.fr

Nicolas Adam (✉)  
IFSTTAR-TS2-LESCOT,  
25 avenue François Mitterrand, case 24  
Université de Lyon, F-69000 Lyon, France  
69675, Bron cedex, France  
e-mail : nicolas.adam@ifsttar.fr

Marie-Laure Bocca (✉)  
U1075 COMETE Inserm, UFR de Médecine  
Avenue de la Côte de Nacre  
14032 Caen cedex, France  
e-mail : bocca-ml@phycog.org

Daniel Ndiaye (✉)  
IFSTTAR-COSYS-LEPSIS,  
25 avenue François Mitterrand, case 24  
Université de Paris-Est, F-77447  
69675, Bron cedex, France  
e-mail : daniel.ndiaye@ifsttar.fr

Bertrand Richard (✉)  
IFSTTAR-TS2-LESCOT,  
25 avenue François Mitterrand, case 24  
69675, Bron cedex, France  
e-mail : bertrand.richard@ifsttar.fr

Catherine Gabaude (✉)  
IFSTTAR-TS2-LESCOT,  
25 avenue François Mitterrand, case 24  
Université de Lyon, F-69000 Lyon, France  
69675, Bron cedex, France  
e-mail : catherine.gabaude@ifsttar.fr

modifications des stratégies de conduite. Ainsi, il existerait des conducteurs ayant une conscience correcte de leurs capacités et d'autres ayant une conscience erronée, parmi lesquels se distingueraient les sur-estimateurs (SE, présentant un risque élevé d'accident) et les sous-estimateurs (SsE, cessant de conduire prématurément). L'objectif est de comparer l'efficacité d'un entraînement cognitif pur à un entraînement cognitif couplé à une immersion sur simulateur, tous deux adressés à des seniors présentant un biais d'auto-estimation. Cent vingt conducteurs âgés de 70 ans et plus sont répartis en six groupes : 20 SE et 20 SsE réalisant un entraînement cognitif seul, 20 SE et 20 SsE réalisant ce même entraînement cognitif associé à une immersion sur simulateur, et 20 SE et 20 SsE contrôles. La durée totale de l'entraînement est de 36 heures réparties sur trois mois. Les participants reçoivent des retours pour les aider à prendre conscience de leurs capacités. Les bénéfices sont évalués sur simulateur de conduite et sur route immédiatement après l'entraînement puis par un questionnaire en ligne 3 mois après la fin de l'entraînement. Le transfert des bénéfices en conditions réelles de conduite est également évalué.

**Mots clés** vieillissement · conducteurs âgés · conduite automobile · entraînement cognitif · simulateur de conduite

**Abstract** To maintain quality of life and autonomy, a safe mobility is needed for older adults. Depending on the self-assessment of their cognitive abilities, by ageing under-estimators (UE) stop driving prematurely and overestimators (OE) expose themselves at risky situations, by aging. Our hypothesis is that a correct estimation of cognitive abilities is required to reach a correct driving self-regulation. The aim of the study is to compare the effectiveness of two cognitive programs intended for older drivers whom misestimate their cognitive abilities. One hundred and twenty drivers aged 70 and over are

assigned to six groups: 20 OE and 20 UE performing a cognitive training, 20 OE and 20 UE performing the same cognitive training coupled with a driving simulator experience, and 20 OE and 20 UE controls. Both training programs last 36 hours spread out over 3 months. The cognitive training is focused on the cognitive functions required while driving, and the simulated driving is based on complex, dangerous or avoided situations according to older drivers. Training benefits are evaluated by comparing subjective and objective performances to cognitive abilities. The training succeeds if participant self-assesses correctly his/her abilities. Moreover, the global benefits are estimated on driving performance. It is expected that the cognitive training can help drivers to better self-assess their cognitive abilities and that driving simulator experience increases the effectiveness of the training program.

**Keywords** Cognitive training activity · Driver training · Driving simulator · Older driver · Self-assessment · Self-regulation

## Introduction

La combinaison de plusieurs événements démographiques tels que le baby-boom d'après la Seconde Guerre Mondiale, la baisse de la fécondité associée à l'augmentation de l'espérance de vie, entraîne une augmentation continue du nombre de personnes âgées dans les pays développés depuis environ un demi-siècle. D'après l'OCDE, un quart de la population de ses pays membres sera âgé de 65 ans et plus d'ici à 2050 [1]. Le vieillissement normal s'accompagne d'une diminution des capacités visuelles, psychomotrices et cognitives ayant des répercussions dans des tâches de la vie quotidienne. Certaines situations, comme la conduite automobile, apparaissent de plus en plus difficiles pour les personnes âgées et leur demandent plus de ressources qu'auparavant pour les effectuer. La conduite automobile est une tâche complexe faisant intervenir des capacités cognitives, perceptives et motrices et l'altération de certaines fonctions liée à l'âge peut affecter la sécurité des conducteurs [2]. En effet, conduire nécessite de faire attention à certaines informations pertinentes et à en ignorer d'autres dans une scène visuellement complexe. Ainsi, la modification de différentes composantes de l'attention visuelle (comme l'attention sélective, l'attention divisée, ou encore la vigilance) peut nuire à la perception de l'apparition d'un danger potentiel dans le champ visuel du conducteur. De plus, la vitesse de traitement de l'information et les fonctions exécutives sont cruciales pour intégrer les informations, anticiper correctement les risques et planifier une réponse adaptée à la situation de conduite [2]. Comme les seniors sont aussi physiquement plus fragiles et plus vulnérables que les plus jeunes et présentent un risque plus

important de blessure lors d'accidents de la route [3], il est important de comprendre les répercussions que peuvent avoir ces déclin cognitifs sur la conduite automobile, afin de leur éviter de s'exposer au risque d'accident.

L'autorégulation de la conduite repose sur l'adaptation comportementale du conducteur pour permettre le maintien de l'activité de conduite dans des conditions sûres malgré le déclin fonctionnel lié à l'âge [4]. Certains conducteurs seniors mettent en place des stratégies compensatoires qui consistent en l'évitement de situations jugées trop complexes (c'est-à-dire la conduite de nuit, par mauvais temps ou aux heures de pointe) ou en l'adaptation de la conduite à leurs propres capacités (c'est-à-dire la diminution des distances parcourues, l'augmentation des distances de sécurité ou la diminution de la vitesse) [5–9]. La composante intermédiaire majeure entre la diminution des capacités perceptives, physiques, ou cognitives avec l'âge et l'autorégulation est la prise de conscience de ce déclin. En effet, l'adoption d'un comportement par l'individu dans une situation donnée dépend de la manière dont il perçoit ses propres capacités [2]. En fonction de la conscience qu'a l'individu de ses capacités, il adaptera ou non sa conduite à la situation. Ainsi, il est important de promouvoir cette prise de conscience afin de permettre aux conducteurs seniors d'éviter des situations jugées trop difficiles et de maintenir leur conduite dans des conditions sûres. Des questionnaires d'auto-évaluation ou d'auto-dépistage ont été utilisés pour améliorer la prise de conscience des conducteurs seniors [5, 10–12]. Ces outils obligent les conducteurs à avoir une réflexion sur leur comportement, pouvant les mener à modifier la manière dont ils gèrent leurs capacités au quotidien. De plus, ces questionnaires peuvent aider les conducteurs à mettre en place des stratégies d'autorégulation adaptées [10]. Ces outils se sont révélés utiles pour mettre à jour certaines difficultés relatives à la conduite et permettre aux personnes concernées d'en discuter avec leurs proches [10]. Cependant, même si ces méthodes semblent efficaces pour améliorer la prise de conscience des conducteurs sur leurs propres capacités, il faut encore qu'ils parviennent à mettre en place les stratégies d'autorégulation adaptées car il y a une différence entre une autorégulation déclarée et une autorégulation effective. Ces formations visant à améliorer les capacités d'autorégulation de conduite n'ont pas prouvé la réduction du nombre d'accidents de la route [13, 14]. En outre, une intervention visant à améliorer les capacités d'autorégulation des seniors peut conduire à l'effet inverse c'est-à-dire à la détérioration des patterns d'autorégulation réels et empêcher les conducteurs d'autoréguler leur conduite de manière pertinente [15].

En parallèle de l'amélioration de la prise de conscience par les conducteurs de leurs propres capacités, plusieurs études ont cherché à évaluer les bénéfices de différents programmes d'entraînement sur les capacités de conduite

des seniors. L'entraînement des capacités physiques grâce à des séances d'aérobic, de fitness ou d'étirements améliore les habiletés de conduite et les performances de conduite sur route [16, 17]. En effet, les exercices proposés permettent une plus grande liberté de mouvements au niveau de la nuque, des épaules et du dos, ce qui entraîne une meilleure prise en main du véhicule, un meilleur balayage visuel de la scène routière, et de plus nombreux contrôles dans les rétroviseurs lors d'un changement de voie, par exemple [16, 17]. Par ailleurs, l'entraînement des capacités cognitives telles que l'attention, la mémoire ou les fonctions exécutives améliore les habiletés et les performances de conduite évaluées sur simulateur [18, 19]. L'entraînement de la vitesse de traitement et des capacités visuo-spatiales fait diminuer le nombre de manœuvres dangereuses sur simulateur de conduite et permet aux personnes âgées de continuer à conduire à des âges plus avancés [20, 21]. Des entraînements théoriques ont également été proposés aux seniors. Ce sont des séances collectives pendant lesquelles un ergothérapeute fait des rappels sur le code de la route, donne des recommandations pour une conduite plus sûre ou encore des informations sur les difficultés pouvant apparaître avec l'âge [2–29]. Ces séances d'information ont également été associées à un entraînement des capacités de conduite sur route avec un moniteur d'auto-école qui donnait aux seniors un retour sur leurs performances de conduite. Les bénéfices de l'entraînement ont été évalués soit sur simulateur de conduite, soit sur route directement. Les enquêtes visant à évaluer les bénéfices de ces programmes rapportent que les participants ont de meilleures connaissances générales sur la conduite (code de la route et sécurité routière) et sur les stratégies d'autorégulation à mettre en place afin de compenser les effets du vieillissement mais elles ne montrent pas toutes une amélioration des performances de conduite sur route ni de baisse du nombre d'accidents (obtenu par les constats faits aux assurances) [30–33].

Les divergences observées entre les études sur les bénéfices de l'entraînement sont probablement liées au fait que tous les conducteurs seniors n'ont pas la même conscience de leurs capacités. Ainsi, ces différents programmes seraient adaptés et efficaces pour les personnes âgées ayant une conscience correcte de leurs capacités cognitives et/ou de conduite, néanmoins, ils ne le seraient pas, ou moins, pour les personnes âgées qui ne s'auto-évaluent pas correctement. Notre étude est basée sur l'hypothèse que les besoins en termes de formations à la conduite ne sont pas les mêmes selon l'état cognitif des conducteurs et la façon dont ils régulent leur conduite. En effet, une auto-estimation correcte des capacités cognitives entraînerait une régulation correcte de la conduite automobile. Ainsi, une intervention visant à faire prendre conscience aux conducteurs de leurs capacités cognitives permettrait aux SE de diminuer leur exposition

au risque d'accident, et permettrait aux SsE de reprendre confiance en eux afin qu'ils continuent de conduire alors qu'ils ne s'en croient plus capables. Cette intervention vise donc à maintenir la conduite des seniors dans des conditions sûres. L'objectif de cette étude est de comparer l'efficacité d'un entraînement cognitif seul à un entraînement cognitif associé à une immersion sur simulateur de conduite sur l'amélioration de l'autorégulation, ces programmes étant dédiés aux conducteurs âgés surestimant ou sous-estimant leurs capacités cognitives.

## Méthodologie

### Participants

#### *Constitution d'une cohorte*

Une cohorte réunissant mille deux cents conducteurs de soixante-dix ans et plus a été constituée dans les départements du Rhône (800 personnes) et du Calvados (400 personnes). Pour des raisons géographiques, nous nous sommes intéressés aux personnes habitant dans le Rhône. En 2012, deux psychologues ont rencontré ces personnes à leur domicile afin de leur faire remplir un questionnaire relatif à leur état de santé, leurs habitudes de conduite, et à l'auto-estimation de leurs capacités cognitives (exemple de question posée : « Avez-vous plus ou moins de difficultés à planifier ou organiser vos activités quotidiennes ? »). En complément, elles ont réalisé des tests neuro-psychologiques (*Trail Making Test* – parties A et B – et les codes de Wechsler) choisis pour leur dimension de prédiction des performances de conduite [3, 34]. Ces résultats aux tests comparés à une norme (performances de personnes du même âge et du même niveau d'éducation), nous donnent une information objective quand aux performances réelles du participant. En croisant ces données objectives aux données subjectives issues de l'auto-évaluation des capacités cognitives effectuée au préalable, trois types de profils se dégagent : (i) les sous-estimateurs (SsE, 15 % de l'effectif de la cohorte, soit 180 conducteurs) ; (ii) les estimateurs corrects (42 % de l'effectif de la cohorte, soit 502 conducteurs) et (iii) les sur-estimateurs (SE, 43 % de l'effectif de la cohorte, soit 508 conducteurs) (Fig. 1) [35].

#### *Critères d'inclusion et constitution des groupes*

Parmi les conducteurs de la cohorte du Rhône, cent vingt seniors réalisant plus de trois mille kilomètres par an et disposant d'un ordinateur connecté à Internet, indispensable à la réalisation de l'entraînement informatisé, sont inclus dans notre étude. Afin de limiter les personnes malades

		Auto-estimation cognitive – Evaluation subjective		
		Moins bien que les autres	Commes les autres	Mieux que les autres
Niveau cognitif – Evaluation objective	Bas	Correct	Sur-estimateur	Sur-estimateur
	Moyen	Sous-estimateur	Correct	Sur-estimateur
	Haut	Sous-estimateur	Sous-estimateur	Correct

**Fig. 1** Procédure d'obtention des trois profils cognitifs par croisement des données issues des évaluations subjective et objective

sur le simulateur et pour éviter la perte de données, les personnes affirmant être sensibles au mal des transports et souffrant de troubles de l'équilibre lors du recrutement téléphonique, n'ont pas été retenues pour l'étude. Lors de leur première venue au laboratoire, l'acuité visuelle des participants a été vérifiée grâce au test de Monoyer (avec correction si la personne porte des lunettes). Cette procédure nous a donc permis de ne pas inclure de participants rencontrant des difficultés perceptives (c'est-à-dire ayant une acuité visuelle inférieure corrigée à 5/10<sup>e</sup>). De plus, les capacités de motricité fine ont été mesurées par le test du *finger tapping*. Pendant ce test, le participant doit presser un maximum de fois la touche espace du clavier en 15 secondes (main dominante et main non-dominante) [36–39]. L'intérêt de notre recherche étant de permettre aux participants une estimation correcte de leurs capacités cognitives, nous avons décidé d'inclure soixante SE et soixante SsE.

Le plan expérimental de l'étude repose sur deux facteurs : le facteur « entraînement » comprenant trois modalités et le facteur « profil d'auto-estimation cognitive » comprenant deux modalités. Six groupes sont constitués : 20 SE (i) et 20 SsE (ii) réalisant un entraînement cognitif informatisé (36 heures) ; 20 SE (iii) et 20 SsE (iv) réalisant un entraînement cognitif informatisé (35 h) associé à une immersion sur simulateur de conduite (1 h) ; 20 SE (v) et 20 SsE (vi) réalisant une activité contrôle (35 h de lecture d'articles de presse), associée à une immersion sur le simulateur de conduite (1 h).

En comparant les évaluations cognitives et de conduite des différents groupes, nous pourrions statuer sur l'efficacité de l'entraînement cognitif sur l'augmentation de la prise de conscience de ses propres capacités cognitives et sur la mise en place de stratégies d'autorégulation. Grâce aux groupes réalisant l'immersion sur le simulateur, nous pourrions conclure quant au rôle de cet outil dans le transfert des bénéfices engendrés par l'entraînement. Enfin, nous regarderons s'il y a une différence dans la prise de conscience et l'autorégulation entre les conducteurs qui se surestiment et ceux qui se sous-estiment.

### Entraînement cognitif

Une collaboration avec l'entreprise lyonnaise SBT (Scientific Brain Training) a été mise en place dans le cadre de ce projet. Cette dernière, spécialisée dans l'entraînement cognitif, a développé le programme d'entraînement Happyneuron®, une méthode d'entraînement dont l'efficacité a déjà été attestée auprès d'une population de seniors exempts de pathologies [40]. Les exercices cognitifs utilisés lors de notre étude en sont issus. Notre base d'exercices comprend vingt jeux choisis pour les fonctions qu'ils entraînent, fonctions sollicitées lors de l'activité de conduite, soit l'attention (8 exercices), les fonctions exécutives telles que la flexibilité mentale ou la planification (4 exercices), la mémoire (4 exercices) et les capacités visuo-spatiales (4 exercices) [41]. De plus, une seconde collaboration a été engagée auprès de Symetrix, une société grenobloise de *e-learning* dont le rôle a été de fournir à l'étude le support technologique nécessaire à sa bonne réalisation. De ce travail conjoint a vu le jour la plateforme Safe Move : un LMS (*learning management system*) nous permettant de proposer aux seniors des exercices en lien avec le contenu de leur entraînement. Ainsi, chaque participant possède son espace personnel où il peut réaliser son activité quotidienne (entraînement cognitif ou lecture) et obtenir des informations sur les sessions antérieures (performances obtenues et temps passé à s'exercer). Pour l'entraînement cognitif, le choix du jeu, parmi les vingt disponibles, est géré par un coach virtuel qui prend également en charge le choix du niveau de l'exercice en fonction d'une règle de progression définie. Lorsque le sujet réussit un exercice (100 %) il passe au niveau supérieur, lorsqu'il obtient un score compris entre 70 % et 100 % il reste au même niveau de difficulté, et lorsqu'il obtient à trois reprises consécutives un score inférieur à 70 % il descend d'un niveau. Chaque exercice réalisé donne lieu à un retour sur sa performance. Dans une fenêtre sont affichés le pourcentage de réussite, le temps de réalisation moyen ainsi que des messages d'encouragement.



À raison de 3 h par semaine en moyenne, les utilisateurs bénéficieront d'un accès de douze semaines à la plateforme d'entraînement. Ce délai d'entraînement de 36 heures a permis un apport bénéfique sur la vitesse de traitement dans des exercices en simple et double tâche, sur l'attention visuelle, et sur l'attention divisée, ainsi qu'un transfert sur l'activité de conduite lors d'une étude préalable proposant un entraînement cognitif associé à des exercices physiques [19]. Par exemple, les auteurs ont montré une amélioration de 10 % du temps de réponse en simple tâche, de 13 % du temps de réponse en double tâche et de 66 % de la vitesse de traitement visuel pour les participants du groupe expérimental. Chaque semaine, l'expérimentateur peut s'assurer de la régularité avec laquelle le participant s'entraîne via un accès aux données personnelles de chaque utilisateur. Il peut ainsi vérifier l'assiduité du participant grâce aux nombres de minutes jouées et aux performances réalisées.

### Immersion sur simulateur de conduite

Lors de cette étude, nous utilisons le simulateur à base fixe de l'Ifsttar. Il s'agit d'une 308 Peugeot instrumentée, entourée d'écrans et d'enclenches qui présentent la restitution visuelle et sonore de l'environnement de conduite. Cinq écrans, qui fournissent environ 280° de champ visuel horizontalement et 40° verticalement, permettent d'immerger totalement le conducteur dans la simulation. De plus, des écrans placés le long du véhicule permettent une utilisation réaliste des rétroviseurs. La simulation de conduite est gérée grâce à cinq ordinateurs interconnectés. Le simulateur est également équipé de caméras (vue avant : état du trafic et infrastructure, vue conducteur : activité visuelle et verbalisations, vue conducteur et environnement : comportement global du conducteur, vue pédales : utilisation des pédales). Ces informations sont retransmises dans la régie du simulateur permettant à l'expérimentateur de coder en direct l'épisode de conduite. Un système de micro et de récepteur permet une interaction conducteur-expérimentateur et ainsi l'apport de consignes lors de la simulation.

Plusieurs scénarios de conduite ont été conçus : (i) lors de leur première venue au laboratoire, les participants réalisent un scénario de familiarisation à la conduite urbaine d'une dizaine de minutes afin de s'habituer à l'environnement virtuel et au maniement de la voiture ; (ii) un scénario d'évaluation d'une durée équivalente est ensuite réalisé par chacun des participants. Cet épisode de conduite urbain et périurbain permet d'évaluer le comportement du participant tout au long du parcours. Il y rencontre cinq situations particulières de conduite (traversée de piéton, franchissement d'intersection ayant des feux tricolores, suivi de véhicule, tourne-à-gauche, dépassement) ; et (iii) pour

les participants concernés par l'immersion sur simulateur, cinq scénarios d'entraînement sont réalisés (correspondant aux cinq situations précédemment citées). Trois niveaux de difficulté peuvent être proposés pour chacune des situations entraînées. Celles-ci ont été choisies suite à la mise en évidence à travers la littérature des situations perçues comme complexes et évitées par les conducteurs seniors ou encore celles présentant un risque d'accident élevé. Lors de chacune des trois sessions d'immersion, le participant est confronté à ces cinq situations. Chaque participant commence l'entraînement au niveau le plus simple. À partir d'un algorithme affectant des points de pénalité pondérés en fonction du comportement du conducteur, un score de performance compris entre 0 et 100 est calculé pour chaque situation. Lorsque le participant obtient un score égal ou inférieur à 50/100 il reste à son niveau et réessaie donc une situation de niveau de difficulté équivalent à l'entraînement suivant. Lorsqu'il obtient un score supérieur à 50/100, le scénario de niveau supérieur est débloqué et lui est présenté lors de son prochain entraînement. Cette prouesse technique est permise grâce à la connexion réalisée entre le simulateur et la plateforme Safe Move. L'intérêt est 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 fournit alors un feedback. Ce retour de performance apparaît à l'intérieur du véhicule par le biais d'un écran. Si la note obtenue est inférieure à 50/100, ce retour lui précise quels sont les objectifs pédagogiques à atteindre pour parvenir au niveau supérieur. Si, au contraire, le participant a réussi l'exercice, le feedback le félicite de sa performance et lui indique son passage au niveau de difficulté supérieur. Pour éviter l'apprentissage lié à l'effet test retest, des variantes de situations ont été développées de sorte qu'un sujet ne soit pas confronté deux fois à la même situation (on compte donc trois variantes de la situation facile, deux variantes pour le niveau de difficulté moyen et une seule de la situation difficile).

### Activité contrôle dite « de mobilisation sociale »

Le groupe ne réalisant pas d'entraînement cognitif réalise une activité de mobilisation inspirée des travaux de Smith et collaborateurs [42] afin d'observer, pour chacun des participants, un investissement dans le programme requérant un même temps d'implication, soit trente-six heures d'activité informatisée. Le principe est de répliquer autant que faire se peut les conditions d'expérimentation des groupes expérimentaux, cela à travers la forme de l'activité, son support et son temps de réalisation. Ce groupe doit lire des articles de presse mis en ligne sur la plateforme Safe Move et associés à des *quizz* simples. Un choix de thèmes varié est proposé afin de satisfaire aux goûts et aux centres

d'intérêt de chacun des lecteurs. Un retour en termes de temps de lecture et de réponses correctes aux *quizz* nous permet de nous assurer que l'activité est menée à bien par le participant. Comme c'est le cas avec l'entraînement cognitif, les lecteurs reçoivent un retour sur leur performance lors du *quizz*. Ces articles ne sont consultables qu'une seule fois par le participant afin d'éviter une mémorisation du contenu entre chaque lecture. Cette activité ne devrait pas contribuer à l'amélioration des fonctions cognitives sollicitées en conduite automobile car seules l'attention et la mémoire à court terme sont impliquées dans cet exercice.

## Évaluation

### Évaluation des capacités cognitives

#### Évaluation objective

Les processus cognitifs sont évalués objectivement au moyen de plusieurs tests neuropsychologiques, des tests papier-crayons ainsi que des tests informatisés. Ces derniers nécessitent un micro-ordinateur avec un écran de 17 pouces. Le participant interagit au moyen de la barre d'espace du clavier et/ou de la souris. Les fonctions étudiées sont celles nécessaires à un comportement de conduite sécuritaire, soient l'attention divisée et sélective, les capacités visuo-spatiales, la mémoire et les fonctions exécutives. Dans cette procédure sont utilisés des *tests normalisés* ayant une validité évidente au niveau de la conduite automobile par rapport aux fonctions qu'ils évaluent comme les capacités attentionnelles, mnésiques, visuo-spatiales, ainsi que certaines fonctions exécutives (flexibilité, planification et mémoire de travail) [2] : le *Trail Making Test* (TMT), les codes de Wechsler, le test de Stroop, l'*Useful Field Of View* (UFOV®), un test d'alerte phasique, une mesure de l'empan mnésique, et un test de double tâche.

La planche A du *Trail Making Test* consiste à relier le plus vite possible et dans l'ordre croissant une série de chiffres (de 1 à 25) répartis sur une feuille de papier. Pour ce qui est de la planche B, il faut relier, dans les mêmes conditions, 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. Le TMT évalue globalement la vitesse de traitement ainsi que les stratégies de recherche visuelle. Le TMT partie B implique des processus de flexibilité mentale, de mémoire de travail et de *switching* attentionnel [43]. Les variables dépendantes qui nous intéressent sont la performance globale, le temps de passation du test rapporté au nombre de déplacements ainsi que le nombre d'erreurs. Ce test est communément utilisé pour estimer les compétences en matière de conduite, les performances

au TMT étant significativement corrélées aux habiletés de conduite [34].

Le test des codes de Wechsler (épreuve issue de la WAIS ; *Wechsler Adult Intelligent Scale*) consiste à réaliser, en quatre-vingt-dix secondes, un maximum de combinaison chiffre-symbole selon un modèle imposé et d'après une liste de chiffres indiquée. C'est une tâche d'apprentissage avec une mise à l'épreuve de la mémoire à court terme. Des auteurs ont établi une corrélation entre de faibles performances au test des codes et un risque de conduite insécure [3].

Le test de Stroop nous renseigne sur la qualité des processus automatiques à travers une tâche d'inhibition de la lecture de mots (nom de couleurs) au profit d'une dénomination de la couleur de l'encre avec laquelle sont écrits ces mots. Ce test permet de mettre en évidence les déficits d'inhibition et d'attention sélective. Il apparaît comme un bon prédicteur du risque d'accidents [2].

L'*UFOV*® (*Useful Field Of View*), test issu d'un concept introduit par Sanders (1970), rend compte de la vitesse de traitement ainsi que des capacités visuo-spatiales et attentionnelles du sujet [44]. Le test se déroule en trois étapes. Dans la première, le participant doit, après une très courte présentation de la cible et au moyen de la souris, indiquer si la cible présentée au centre de l'écran était un camion ou une voiture (les deux items étant visuellement proches). Lors de la deuxième étape, le sujet doit non seulement indiquer si la cible présentée au centre de l'écran était un camion ou une voiture mais aussi rapporter, dans un second temps, l'endroit, parmi les huit positions possibles autour de la cible, où est apparue une voiture (deuxième cible). La troisième étape est la même que la seconde, à l'exception que la deuxième cible apparaît accompagnée de distracteurs qui occupent les sept autres localisations possibles. L'*UFOV*® apparaît comme un bon indicateur du risque d'accidents [45].

Lors du test d'alerte phasique de type détection du signal, le participant doit, dans un premier temps, presser la touche espace dès l'apparition d'une cible à l'écran. Puis dans un deuxième temps, il doit exécuter la même consigne en inhibant le comportement de réponse face à un stimulus auditif (un bip) présenté avant la cible visuelle et agissant comme une amorce négative. Ce test consiste à mesurer la capacité à inhiber une réponse motrice en fonction de la prise en compte d'un signal sonore, le participant étant engagé dans une tâche de réaction et étant informé qu'il doit inhiber sa réponse lorsqu'il entend le signal sonore. Des auteurs ont mis en avant l'importance de l'évaluation de la vitesse de traitement dans le cadre d'une mesure des performances de conduite chez les sujets âgés [46, 47].

L'empan mnésique est évalué à travers des tâches de répétitions d'items 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. Une évaluation mnésique est justifiée par la forte implication de cette fonction dans l'activité de conduite [41].

Un test expérimental de *double tâche* estimant le coût engendré par la réalisation simultanée d'une seconde tâche « attentionnelle » (comptage de 3 en 3 à partir d'un chiffre donné) et d'une tâche simple (marche) est également réalisé. Les interférences de cette double tâche s'observent en termes de performance (déviation de la marche) et de temps (temps supplémentaire en condition double tâche par rapport à en condition simple tâche mesurée au préalable). Ce test nous permet d'observer comment le participant gère ses ressources attentionnelles [48].

#### *Évaluation subjective (auto-évaluation)*

Ces données objectives sont ensuite mises en relation avec des données subjectives obtenues par une autoévaluation des capacités cognitives. Ce questionnaire comporte cinq questions sous forme d'échelles de Likert. Le participant doit se situer par rapport à la moyenne des gens de son âge quant à ses propres capacités pour chacune des fonctions entraînées via les séances d'entraînement cognitif. Ces estimations sont réalisées à travers les réponses à des questions simples comme « Par rapport aux personnes de votre âge, avez-vous plus ou moins de mal à vous concentrer ? » au moyen d'échelles en 5 points allant de « Moins de mal » à « Plus de mal ». Cette question, par exemple, nous renseigne sur ses capacités auto-évaluées d'attention focalisée. Un score d'auto-évaluation des capacités cognitives est calculé en faisant la somme des réponses obtenues aux différentes questions.

#### *Autorégulation cognitive*

En début et en fin d'entraînement, un index d'autorégulation cognitive est obtenu grâce aux choix du niveau de difficulté fait par les participants pour quatre exercices (un pour chaque processus cognitif entraîné : attention, mémoire, fonctions exécutives et capacités visuo-spatiales). Les participants doivent choisir le niveau de difficulté maximal pour lequel ils pensent pouvoir réaliser 100 % de bonnes réponses. Le premier choix est le plus important. Il est ensuite comparé aux choix suivants : (i) si lors du premier choix, le participant se confronte à un niveau trop difficile et qu'il fait des erreurs, lors du deuxième choix, il devrait choisir un niveau de difficulté moindre. Ainsi, il se sera surestimé ; (ii) si lors du premier choix de niveau, le participant obtient une performance de 100 % et que lors du deuxième choix, il choisit un niveau de difficulté supérieur qu'il réussit tout autant, alors le participant, lors de ce premier choix, se sera sous-estimé ; (iii) par contre si lors

du premier choix de niveau, le participant obtient un score de 100 % et que lors du 2<sup>e</sup> choix, en choisissant un niveau de difficulté supérieur il ne réussit pas à 100 % alors il aura estimé correctement ses capacités.

La comparaison de ces indices d'autorégulation obtenus en début et en fin d'entraînement nous permet de vérifier si une amélioration de l'auto-estimation des capacités cognitives conduit à une meilleure autorégulation.

### **Évaluation des capacités de conduite sur route**

#### *Évaluation objective*

Pour évaluer la performance de conduite le véhicule expérimental utilisé est une 307 Peugeot instrumentée : le véhicule Victor (Véhicule instrumenté pour l'étude du comportement du conducteur) du LESCOT. Celui-ci possède une boîte manuelle et est équipé d'un système de double commande (accélérateur, frein, embrayage) et double rétroviseur. Des capteurs placés au niveau des pédales permettent l'enregistrement des actions du conducteur (taux d'enfoncement). D'autres capteurs permettent de recueillir les rotations du volant, la vitesse du véhicule, la distance parcourue et les utilisations du clignotant. Ces données sont enregistrées sur un ordinateur se trouvant à bord du véhicule. Ces enregistrements permettent d'exploiter a posteriori les données relatives au comportement du conducteur (exemple : freinage brusque, vitesse inadaptée, etc.) tout au long de la conduite et ceci dans chaque situation étudiée (situation de tourne à gauche, de ronds-points, etc.). Un système de balisage GPS et de topage, géré par l'expérimentateur permet d'indiquer les étapes difficiles rencontrées lors du parcours. Victor est aussi équipé de caméras vidéo permettant de recueillir les informations concernant le comportement du participant en situation de conduite réelle (vue avant : état du trafic et infrastructure, vue arrière : état du trafic, vue conducteur : activité visuelle et verbalisations, vue conducteur et moniteur : comportement global du conducteur et actions du moniteur). L'ouverture angulaire couverte par les caméras permet une analyse et un dépouillement très fin du comportement du conducteur. La conduite se déroule en présence d'un moniteur d'auto-école, assis à la droite du conducteur.

Le parcours effectué se déroule au travers de 3 villes : Bron, Chassieux et Villeurbanne (département du Rhône, près de Lyon). Il dure environ 40 minutes pour 28 kilomètres parcourus. Il alterne une partie en ville (13 km), une partie en milieu périurbain/campagne (5 km) et une partie sur périphérique/autoroute (10 km). Lors de ce parcours le participant est confronté à différents types d'infrastructures : 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 sont données au conducteur par le moniteur d'auto-école au fur et à mesure de la progression. Dans certains cas le conducteur doit définir par lui-même l'action à effectuer et l'itinéraire à suivre en fonction de l'indication de direction donnée par le moniteur (exemple : « Suivez la direction de Bron »). La réalisation du parcours de conduite est précédée d'une phase de prise en main du véhicule d'une dizaine de minutes.

Deux grilles sont utilisées pour l'évaluation de la performance de conduite et pour le codage de l'activité de conduite en temps réel. La première grille est une version adaptée en français de *Test Riding for Investigating Practical fitness to drive* (TRIP) [38]. Cette grille évalue onze dimensions de la conduite automobile : la position sur la route, le suivi de véhicule, la vitesse, le comportement visuel, la signalisation routière, les dépassements, les réactions d'anticipation, la communication avec les autres usagers de la route, la confrontation à des situations particulières (comme les tourne-à-gauche ou les deux fois deux voies), la gestion mécanique du véhicule et les impressions générales. Chacune de ces dimensions est donc évaluée comme insuffisante, douteuse, suffisante, bien ou non applicable. Lorsque le parcours est terminé, cette cotation est opérée par le moniteur d'auto-école. Un deuxième codage est réalisé simultanément par un expérimentateur placé derrière le conducteur. Il remplit une grille évaluative présentant un descriptif des situations rencontrées au cours du parcours, ainsi qu'une liste exhaustive des comportements potentiels du conducteur. Les différents comportements sont regroupés en catégories plus générales afin de faciliter le codage : l'attention visuelle, le respect de la signalisation, les interactions, la planification, la position du véhicule, l'adaptation de la vitesse, et le maniement des commandes. De plus, l'expérimentateur peut coder ou noter tout événement non prévu qui influe sur le comportement du conducteur, ainsi que toute intervention du moniteur. À partir de cette grille, il est possible de vérifier la manière dont les participants appréhendent certaines situations de conduite ainsi que le respect ou non du code de la route. La complétion de cette grille peut être finalisée ensuite en visionnant la vidéo. Cette grille permet de calculer un score de pénalités, issu de l'observation du comportement de conduite. Les pénalités sont pondérées en fonction de l'erreur commise, de la gravité de celle-ci et de la situation inhérente à la réalisation du comportement. Ainsi le fait d'oublier son clignotant sera donc pénalisé moins sévèrement que le non-respect d'un feu de signalisation par exemple, ceci en fonction de l'incidence du comportement sur le caractère sécuritaire de la conduite.

### *Évaluation subjective (auto-évaluation)*

Le conducteur doit remplir un questionnaire d'autoévaluation concernant son activité de conduite composé de douze questions dont neuf sous la forme d'échelles de Likert. Ces données subjectives sont mises en relation avec les données objectives issues de l'observation de la performance de conduite. Afin d'établir un lien entre chacun des questionnaires donnés aux participants, les questions concernent toutes les mêmes fonctions cognitives. Par exemple pour ce qui est de l'attention focalisée, dont nous avons parlé dans le cadre de l'évaluation cognitive, la question s'y rapportant concernant l'activité de conduite est la suivante « Par rapport aux personnes de votre âge, avez-vous plus ou moins de mal à rester concentré lors de votre conduite ? ». De la même façon le participant y répond au moyen d'une d'échelles en 5 points allant de « Moins de mal » à « Plus de mal ». Un score d'auto-évaluation des capacités de conduite est obtenu en additionnant les réponses aux neuf questions présentées.

### *Autorégulation en conduite*

Cette approche est exploratoire. Pour la conduite sur route, la TRIP et la grille d'évaluation en temps réel sont utilisées afin de regarder comment se comportent les conducteurs dans des situations précises du parcours impliquant les capacités attentionnelles (signalisation, ex. : suivi de direction, lecture des panneaux, couleur des feux, etc.), les fonctions exécutives (planification de l'action, capacités de mise à jour ; ex : adaptation de la vitesse en fonction des circonstances ; choix de la voie dans laquelle se positionner pour un tourne-à-gauche, etc.), ou encore les capacités visuo-spatiales (exploration visuelle, ex. : priorité à droite, vérification rétroviseurs et angle mort). La comparaison des scores de performance obtenus en début et en fin d'entraînement permet de vérifier si une amélioration de l'auto-évaluation entraîne une meilleure adaptation du comportement de conduite.

### **Évaluation des capacités de conduite sur simulateur**

#### *Évaluation objective*

L'évaluation est réalisée au cours d'un épisode de conduite sur le scénario d'entraînement dont nous avons parlé précédemment. Ce scénario évalue les cinq situations entraînées lors de l'étude (situations de suivi de véhicule, tourne-à-gauche, dépassement, traversée de piétons, et feux de circulation). Cette évaluation est réalisée lors de

l'inclusion, puis trois mois après l'inclusion. La conduite sur simulateur est également codée au moyen d'une grille d'observation similaire à celle utilisée en situation de conduite sur route. Cette dernière a été adaptée au scénario d'évaluation. Elle recense chacune des douze étapes franchies au long de l'épisode de conduite, ainsi que la liste des comportements pouvant être réalisés par le sujet. Un score de pénalité est attribué en fonction des erreurs de conduite observées. Plus le comportement est optimal moins les pénalités sont élevées.

### *Évaluation subjective (auto-évaluation)*

Suite à leur épisode de conduite sur simulateur les participants remplissent un questionnaire d'autoévaluation de leur performance composé de douze questions dont neuf sont sous la forme d'échelles de Likert en 5 points. Un lien est également maintenu quant aux fonctions estimées à travers les autres auto-estimations effectuées. Concernant l'exemple de l'attention focalisée, la question liée à l'autoévaluation de la performance sur simulateur est la suivante : « Par rapport aux personnes de votre âge, pensez-vous avoir eu plus ou moins de mal à rester concentré lors de l'épisode de conduite ? ». Afin de tenir compte de l'effet lié à la conduite sur simulateur, une question est posée au sujet lui demandant comment s'est-il senti lors de l'épisode de conduite. La réponse à cette question se fait également à travers une échelle de Likert en 5 points allant de « Mal à l'aise » à « Très à l'aise » et nous permet de pondérer ses autres réponses. Une comparaison entre la performance estimée et constatée peut alors être effectuée.

### **Procédure**

La visite d'entrée dans le programme s'opère sur une demi-journée, toutes les évaluations qui la composent sont alors proposées aux participants. Les formulaires de consentements, de cession de droits à l'image et d'indemnisation sont présentés et signés en doubles exemplaires. Après une description de l'étude, chaque participant complète un certain nombre de questionnaires, notamment des échelles de qualité de vie, d'autonomie psychologique et de sentiment d'auto-efficacité. Le participant commence sa demi-journée par l'évaluation cognitive, il réalise ensuite une évaluation de conduite sur route et finit par une évaluation de conduite sur simulateur. Après chaque étape, il remplit un questionnaire d'autoévaluation. Afin que le participant ne soit pas trop fatigué, chacune de ces évaluations est suivie d'une pause d'une quinzaine de minutes et d'autres peuvent être ajoutées si le participant en fait la demande. La visite d'entrée dans l'étude se poursuit par une première session encadrée au cours de laquelle

le programme d'entraînement est présenté aux participants par groupe de 6 à 10 personnes. Lors de cette session les participants réalisent les quatre exercices permettant d'établir ultérieurement leur index d'autorégulation.

Les participants effectuent ensuite l'entraînement à leur domicile pendant trois mois à raison de trois heures par semaine, soit un total de trente-six heures d'activité. Deux autres sessions encadrées ont lieu lors de la quatrième et de la septième semaine d'entraînement. Ces sessions ont pour but de présenter les fonctions cognitives entraînées afin d'impliquer le participant dans son entraînement et d'avoir un retour sur son travail, afin de le réorienter vers une utilisation plus adaptée à l'étude si besoin. Ces sessions sont modifiées pour les groupes impliqués dans l'activité contrôle de lecture, afin d'apporter une cohérence entre la présentation des fonctions entraînées et leur activité.

À la fin de l'entraînement, les participants jouent de nouveau, à leur domicile cette fois, aux quatre jeux réalisés lors de la première session encadrée. Puis, ils reviennent à l'Ifsttar afin d'effectuer une évaluation finale similaire à celle de la visite d'entrée (évaluations cognitives, de conduite sur route et de conduite sur simulateur). Enfin, un questionnaire en ligne est complété pour estimer la durabilité des bénéfices de l'entraînement.

### **Perspectives**

Les performances obtenues par les participants aux trois différents programmes d'entraînement nous permettront de conclure sur les bénéfices de l'entraînement cognitif et d'évaluer l'intérêt représenté par une mise en situation virtuelle, dans le cadre d'un entraînement à la conduite. Nous pourrions ainsi comparer les groupes réalisant un entraînement cognitif, associé ou non à une immersion sur simulateur et observer de potentiels bénéfices d'une confrontation virtuelle à des situations de conduites délicates.

L'intérêt des deux groupes réalisant l'immersion sur simulateur sera de statuer sur l'utilité de l'entraînement cognitif. À la différence des participants ayant effectué la revue de presse (activité contrôle), ceux ayant suivi l'entraînement cognitif informatisé devraient améliorer leurs capacités cognitives liées aux fonctions entraînées. Ainsi, l'utilisation de ces mêmes fonctions dans le cadre de la conduite pourra aboutir à l'obtention de meilleurs résultats par rapport à avant l'entraînement. Il s'agirait donc d'un transfert de bénéfice opéré depuis l'entraînement cognitif vers l'activité de conduite.

La question de la place du simulateur dans l'amélioration des capacités d'autorégulation se pose : l'immersion sur simulateur améliore-t-elle le transfert des bénéfices de l'entraînement cognitif sur l'activité de conduite réelle ? Est-elle une étape cruciale ? Ou bien l'entraînement cognitif

**Tableau 1** Récapitulatif des différentes étapes de l'expérimentation

Groupes	Sous-groupes	Evaluation d'inclusion	Session encadrée 1 (semaine 1)	Trois semaines d'activités	Session encadrée 2 (semaine 3)	Quatre semaines d'activités	Session encadrée 3 (semaine 7)	Cinq semaines d'activités	Evaluation finale (semaine 12)	Evaluation de suivi (semaine 36)
Entraînement cognitif (n = 40)	Sur-estimateurs (n=20)	Evaluation cognitive (1h)	Présentation de la plateforme d'entraînement		Présentation des fonctions cognitives		Présentation des fonctions cognitives		Evaluation cognitive (1h)	
	Sous-estimateurs (n=20)		Réalisation des exercices pour obtenir l'index d'autorégulation		Retours sur l'entraînement à domicile		Retours sur l'entraînement à domicile			
Entraînement cognitif + immersion sur simulateur de conduite (n = 40)	Sur-estimateurs (n=20)	Evaluation de la conduite sur route (45 min)	Présentation de la plateforme d'entraînement	Entraînement cognitif	Présentation des fonctions cognitives	Entraînement cognitif	Présentation des fonctions cognitives	Entraînement cognitif	+	Evaluation de la conduite sur route (45 min)
	Sous-estimateurs (n=20)		Réalisation des exercices pour obtenir l'index d'autorégulation		Retours sur l'entraînement à domicile		Retours sur l'entraînement à domicile		Réalisation de l'entraînement sur simulateur de conduite	
Activité contrôlée + immersion sur simulateur de conduite (n = 40)	Sur-estimateurs (n=20)	Evaluation de la conduite sur simulateur (15 min)	Présentation de la plateforme d'activité	Lecture de coupures de presse	Présentation des fonctions cognitives	Lecture de coupures de presse	Présentation des fonctions cognitives	Lecture de coupures de presse	+	Evaluation de la conduite sur simulateur (15 min)
	Sous-estimateurs (n=20)		Réalisation des exercices pour obtenir l'index d'autorégulation		Retours sur l'activité à domicile		Retours sur l'activité à domicile		Réalisation de l'entraînement sur simulateur de conduite	

seul des fonctions cognitives, requises dans l'activité de conduite, suffit-il à améliorer l'autorégulation des conducteurs ?

En termes de prise de conscience et de bénéfices secondaires, il est attendu que l'entraînement cognitif permette à tous les conducteurs de devenir des estimateurs corrects de leurs capacités cognitives. En effet, grâce aux retours sur performance, obtenus pour chacun des exercices, le participant devrait être capable de cerner plus précisément ses capacités. Plus précisément, les SE devraient prendre conscience des difficultés qu'ils rencontrent lors de l'exécution de certaines tâches cognitives et ceci par le biais de la progression dans le programme (niveaux de difficulté), et les SsE devraient reprendre confiance en leurs capacités grâce à la progression et aux retours reçus après chaque exercice. L'amélioration de la prise de conscience des capacités de conduite grâce à l'immersion sur simulateur conduirait les SE à réduire leur prise de risque en les confrontant directement à des situations critiques. L'immersion sur simulateur devrait permettre aux SsE de reprendre confiance en eux et de mettre en place une meilleure adaptation comportementale afin que leur conduite soit en accord avec leurs capacités.

## Remerciements

Cette recherche est financièrement soutenue par l'Ifsttar, l'ANR-11-VPTT-001-Safe Move et l'ARC2 « qualité de vie et vieillissement » (projet Entraînement-Conduite). Ce travail fait l'objet d'une thèse qui a commencé en octobre 2012.

## Références bibliographiques

- OCDE (2012) *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 : les conséquences de l'inaction*.
- Anstey KJ, Wood J, Lord S, & Walker JG (2005) Cognitive, Sensory and Physical Factors Enabling Driving Safety in Older Adults. *Clin Psychol Rev* 25: 45–65.
- Lafont S, Marin-Lamellet C, Paire-Ficout L, et al (2010) The Wechsler Digit Symbol Substitution Test as the Best Indicator of the Risk of Impaired Driving in Alzheimer disease and Normal Aging. *Dement Geriatr Cogn* 29: 154–163.
- Donorfio LK, Mohyde M, Coughlin J, & D'Ambrosio L (2008) A Qualitative Exploration of Self-Regulation Behaviors among Older Drivers. *J Aging Soc Policy* 20: 323–339.
- Holland CA & Rabbitt PMA (1992) People's Awareness of Their Age-Related Sensory and Cognitive Deficits and the Implications for Road Safety. *Appl Cognitive Psych* 6: 217–231.

6. Ball K, Owsley C, Stalvey B, et al (1998) Driving Avoidance and Functional Impairment in Older Drivers. *Accid Anal Prev* 30: 313–322.
7. Molnar LJ & Eby DW (2008) The Relationship between Self-Regulation and Driving-Related Abilities in Older Drivers: An Exploratory Study. *Traffic Inj Prev* 9: 314–319.
8. Donorfio LK, D'Ambrosio LA, Coughlin JF, and Mohyde M (2009) To Drive or Not to Drive, That Isn't the Question—the Meaning of Self-Regulation among Older Drivers. *J Safety Res* 40: 221–226.
9. Gabaude C, Marquié J-C, and Obriot-Claudiel F (2010) Self-Regulatory Driving Behaviour in the Elderly: Relationship with Aberrant Driving Behaviours and Perceived Abilities. *Trav Hum* 73: 31–52.
10. Molnar L, Eby DW, Kartje PS, & St Louis RM (2010) Increasing self-awareness among older drivers: the role of self-screening. *J Safety Res* 41: 367–373.
11. Eby DW, Molnar LJ, Shope JT, et al (2003) Improving older driver knowledge and self-awareness through self-assessment: The driving decisions workbook. *J Safety Res* 34: 371–381.
12. Levasseur M, Audet T, Gélinas I, et al (accepté 2013) Outil de Sensibilisation des conducteurs âgés aux capacités requises pour une Conduite Automobile Sécuritaire et Responsable (OSCAR). *Proceedings of Canadian Multidisciplinary Road Safety Conferences / Comptes rendus de la Conférence canadienne multidisciplinaire en sécurité routière*.
13. Ker K, Roberts I, Collier T, et al (2005) Post-license driver education for the prevention of road traffic crashes: a systematic review of randomised controlled trials. *Accid Anal Prev* 37: 305–313.
14. Nasvadi GE, & Vavrik J (2007) Crash risk of older drivers after attending a mature driver education program. *Accid Anal Prev* 39: 1073–1079.
15. Moták L (2011) *L'apport des théories métacognitives à l'étude d'autorégulation chez les conducteurs âgés*, Université Lyon 2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 175 p.
16. Marottoli RA, Allore H, Araujo KL, et al (2007) A Randomized Trial of a Physical Conditioning Program to Enhance the Driving Performance of Older Persons. *J Gen Intern Med* 22: 590–597.
17. Caragata GE, Tuokko H, & Damini A (2009) Fit to Drive: A Pilot Study to Improve the Physical Fitness of Older Drivers. *Act Adapt Aging* 33: 240–255.
18. Cassavaugh ND and Kramer AF (2009) Transfer of Computer-Based Training to Simulated Driving in Older Adults. *Appl Ergon* 40: 943–952.
19. Marmeleira JF, Godinho MB, & Fernandes OM (2009) The Effects of an Exercise Program on Several Abilities Associated with Driving Performance in Older Adults. *Accid Anal Prev* 41: 90–97.
20. Edwards JD, Delahunt PB, & Mahncke HW (2009) Cognitive Speed of Processing Training Delays Driving Cessation. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 64: 1262–1267.
21. Edwards JD, Myers C, Ross LA, et al (2009) The Longitudinal Impact of Cognitive Speed of Processing Training on Driving Mobility. *Gerontologist* 49: 485–494.
22. Bédard M, Isherwood I, Moore E, et al (2004) Evaluation of a Re-Training Program for Older Drivers. *Can J Public Health* 95: 295–298.
23. Marottoli RA (2007) *Enhancement of Driving Performance in Older Drivers*.
24. Marottoli RA, Ness PH, Araujo KL, et al (2007) A Randomized Trial of an Education Program to Enhance Older Driver Performance. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 62: 1113–1119.
25. Bédard M, Porter MM, Marshall S, et al (2008) The Combination of Two Training Approaches to Improve Older Adults' Driving Safety. *Traffic Inj Prev* 9: 70–76.
26. Rosenbloom T, Shahar A, Elharar A, & Danino O (2008) Risk Perception of Driving as a Function of Advanced Training Aimed at Recognizing and Handling Risks in Demanding Driving Situations. *Accid Anal Prev* 40: 697–703.
27. Romoser MR & Fisher DL (2009) The Effect of Active Versus Passive Training Strategies on Improving Older Drivers' Scanning in Intersections. *Hum Fact* 51: 652–668.
28. Marchal-Crespo L, McHughen S, Cramer SC, and Reinkensmeyer DJ (2010) The Effect of Haptic Guidance, Aging, and Initial Skill Level on Motor Learning of a Steering Task. *Exp Brain Res* 201: 209–220.
29. Lavalliere M, Simoneau M, Tremblay M, et al (2012) Active Training and Driving-Specific Feedback Improve Older Drivers' Visual Search Prior to Lane Changes. *BMC geriatr* 12: 5. DOI 10.1186/1471-2318-12-5.
30. Kua A, Korner-Bitensky N, Desrosiers J, et al (2007) Older Driver Retraining: A Systematic Review of Evidence of Effectiveness. *J Safety Res* 38: 81–90.
31. Korner-Bitensky N, Kua A, von Zweck C, & Van Benthem K (2009) Older Driver Retraining: An Updated Systematic Review of Evidence of Effectiveness. *J Safety Res* 40: 105–111.
32. Korner-Bitensky N, Menon A, von Zweck C, & Van Benthem K (2010) A National Survey of Older Driver Refresher Programs: Practice Readiness for a Rapidly Growing Need. *Phys Occup Ther Geriatr* 28: 205–214.
33. Korner-Bitensky N, Menon A, von Zweck C, & Van Benthem K (2010) Occupational Therapists' Capacity-Building Needs Related to Older Driver Screening, Assessment, and Intervention: A Canadian Survey. *Am J Occup Ther* 64: 316–324.
34. Stutts J, Stewart R, & Martell C. (1998) Cognitive test performance and crash risk in an older driver population. *Accid Anal Prev* 30: 337–346.
35. Lafont S, Mintsas-Eya C, Coquillat A, Marie dit Asse L, Chavoix C, Parie-Ficout L, & Fabrigoule C, (2014) *Safe-Move Factors leading to a strong overestimation of cognitive performances in older drivers: first results form a cohort study in france*, ICAP Symposium DIV 13-S04: Too old to drive? The role of self-abilities assessment training programs and advanced driving assistance systems; 28th International Congress of Applied Psychology, Paris, July 2014.
36. Reitan RM & Wolfson D (1993) *The Halstead-Reitan Neuropsychological Test Battery: Theory and clinical interpretation*. Tucson, AZ: Neuropsychology Press.
37. Grace J, Amick M, D'abreu A, et al (2005) Neuropsychological deficits associated with driving performance in Parkinson's and Alzheimer's disease. *J Int Neuropsychol Soc* 11: 766–775.
38. Ott B, Festa E, Amick M, et al (2008) Computerized Maze Navigation and On-Road Performance by Drivers with Dementia. *J Int Neuropsychol Soc* 21: 18–25.
39. Withaar FK, Brouwer WH, & van Zomeren AH (2000) Fitness to drive in older drivers with cognitive impairment. *J Int Neuropsychol Soc* 6: 480–490.
40. Croisile B (2006) La stimulation de mémoire. *Quel rationnel ? Quels exercices? Revue Gériatr* 31 : 421–433.
41. Wagner JT, Müri RM, Nef T, and Mosimann UP (2011) Cognition and driving in older persons. *Swiss Med Wkly* 140: w13136.
42. Smith GE, Housen P, Yaffe K, et al (2009) A Cognitive Training Program Based on Principles of Brain Plasticity: Results from Improvement in Memory with Plasticity-based Adaptive Cognitive Training (IMPACT) study. *J Am Geriatr Soc* 57: 594–603.

43. Hagen K, Ehlis A-C, Haeussinger FB, et al (2014) Activation during the Trail Making Test measured with functional near-infrared spectroscopy in healthy elderly subjects. *NeuroImage* 85: 583–591.
44. Sanders AF (1970) Some aspects of the selective process in the functional field of view. *Ergonomics* 13: 101–117.
45. Ball K, Owsley C, Sloane ME, et al (1993) Visual Attention Problems as a Predictor of Vehicle Crashes in Older Drivers. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 34: 3110–3123.
46. Owsley C & McGwin G (1999) Vision Impairment and driving. *Surv Ophthalmol* 43: 535–550.
47. Ferreira I, Simoes M, & Maroco J (2013) Cognitive and psychomotor tests as predictors of on-road driving ability in order primary care patients. *Trans Res Part F* 21: 146–158.
48. Bessot N, Denise P, Toupet M, et al (2012) Interference between walking and a cognitive task in increased in patients with bilateral vestibular loss. *Gait Posture* 36: 319–321.