



HAL
open science

Enquêtes, observations et analyse de l'activité auprès de conducteurs âgés : comprendre les obstacles pour mieux agir (parcours critique, positions théoriques et perspectives de recherche)

Catherine Gabaude

► **To cite this version:**

Catherine Gabaude. Enquêtes, observations et analyse de l'activité auprès de conducteurs âgés : comprendre les obstacles pour mieux agir (parcours critique, positions théoriques et perspectives de recherche). Psychologie et comportements. Université Lyon 2, 2016. tel-01494798

HAL Id: tel-01494798

<https://hal.science/tel-01494798>

Submitted on 24 Mar 2017

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.



UNIVERSITÉ
LUMIÈRE
LYON 2
UNIVERSITÉ DE LYON

DOSSIER SCIENTIFIQUE DE DEMANDE D'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

UNIVERSITE LYON 2

Présenté par Catherine Gabaude

ENQUETES, OBSERVATIONS ET ANALYSE DE L'ACTIVITE AUPRES DE
CONDUCTEURS AGES : COMPRENDRE LES OBSTACLES POUR MIEUX AGIR
(PARCOURS CRITIQUE, POSITIONS THEORIQUES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE)

Soutenance prévue le 19 décembre 2016

Membres du jury :

- Janick Naveteur, Maître de Conférence (HDR), Université des Sciences et Technologie de Lille 1
- Anabela Simoes, Professeur des universités, Université Lusófona, Lisbonne, Portugal
- Bernard Laumon, Directeur de Recherche, Institut Français de Sciences et Technologies des Transports de l'Aménagement et des Réseaux, Bron
- Jean-Claude Marquié, Directeur de Recherche, CNRS, Université Toulouse 2
- George Michael, Professeur des universités, Université Lyon 2

Date de dépôt : 5 septembre 2016

Institut Français de Sciences et Technologies des Transports de l'Aménagement et des Réseaux
Département Transport Santé Sécurité
Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports



Remerciements

Le travail de recherche ne peut se conduire seul. En premier lieu, je souhaite remercier les chercheurs avec lesquels j'ai eu la chance de travailler ces dernières années : mes collaborateurs et collègues et les étudiants que j'ai eu le plaisir d'encadrer. Leur aide précieuse m'a permis de conduire les enquêtes, observations et expérimentations mentionnées dans ce mémoire d'HDR. Sans leurs concours dans la réalisation de ces travaux fastidieux, je n'aurais jamais pu aboutir ce mémoire. Merci de m'avoir aussi bien entourée ces dernières années. Vos qualités humaines, vos compétences et votre dévouement ont été une source précieuse d'épanouissement au travail. Cinq doctorants auront marqué cette première étape de ma carrière : Ladislav, Marion, Guillaume, Evguéni, Frédérique. Vous étiez tous très différents mais tellement complémentaires et quelle fierté j'ai de voir le premier d'entre vous à avoir soutenu faire une aussi brillante carrière. Merci Ladislav pour ton investissement constant dans le travail et ta ténacité. Grâce à ces deux qualités essentielles, je n'avais plus qu'à tenter de t'accompagner au mieux. Pour les autres, je connais déjà votre application et implication dans le travail. Percevez, cela continuera forcément à porter ses fruits.

Merci à tous mes collègues universitaires rencontrés grâce aux activités du GDR Psycho-Ergo et nos participations conjointes à plusieurs projets ANR. Votre coopération et vos contributions aux échanges ont fortement guidé mes travaux. Grâce à vous, j'ai aussi pu encadrer d'excellents étudiants. Emmanuel Lagarde et Bertrand Maury m'ont appris à toujours viser plus haut, l'important c'est au moins d'essayer. Outre atlantique, j'ai récemment découvert Mélanie Levasseur, une collègue rapidement devenue amie, qui a su éveiller en moi l'envie de sortir de ma zone de confort pour me dépasser. La découverte de l'expression « arrête de gosser » a profondément changé ma façon de travailler : j'ai commencé à comprendre comment aller à l'essentiel ! Ce travail s'est encore amélioré grâce à Véronique qui a su me recommander la lecture du livre de Greg McKeown. Par cette lecture, j'ai non seulement progressé en anglais mais aussi profondément modifié mes activités quotidiennes.

Mes collègues du Lescot m'ont aussi beaucoup apporté. Dès mon arrivée au laboratoire, André, Annie et Corinne m'ont accordé leur confiance et avec Alexandra nous avons rapidement mis le pied à l'étrier en plongeant dans le grand bain. Sylviane, Laurence, Aline et Claude, nous avons eu la chance de travailler sur un même thème de recherche qui nous a permis de vieillir ensemble et plutôt bien il me semble. Merci Claude de m'avoir montré la voie vers l'HDR. Christophe, mon premier post-doctorant, ce n'est pas sans émotion que j'ai eu plaisir à initier notre collaboration et à élargir ma problématique de recherche. Quant à Jordan et Joceline, si j'ose dire, grâce à Valeo, nous avons appris à nous ranger mais je sais aussi qu'il nous reste encore tant à apprendre. La direction du laboratoire comme les membres de l'équipe technique m'ont toujours soutenue et suivie, je vous en suis reconnaissante.

Merci aussi à tous les membres de mon jury, d'avoir accepté de lire et de commenter mes travaux. C'est un grand honneur pour moi de soutenir cette HDR devant vous. Merci pour vos encouragements, mais aussi pour conseils avisés. Anabela, ta ténacité est remarquable, tu es un modèle du bien vieillir. Janick j'admire le soin que tu portes à ton travail et la richesse de tes questionnements. Bernard, par tes qualités managériales, tu as su me donner l'exemple, me convaincre et m'impliquer dans mes fonctions d'animatrice d'axe. Grâce à toi, j'ai enfin pu prendre confiance en moi. Jean-Claude, commencer une carrière à tes côtés a été une expérience fabuleuse, tu as été un mentor exquis. Ton soutien sans faille, m'a été précieux. George, merci d'avoir accepté d'être le coordonnateur de mon HDR. Tu m'as toujours prodigué des conseils et remarques enrichissants. Grâce à toi, comme le mentionne Benoit Dubuis, j'ai pu « cultiver une impatience positive » et développer un projet scientifique en tentant d'avoir une longueur d'avance sur certains grands changements sociétaux.

Il me reste aussi à remercier grandement Virginie et Eglantine, qui ont soigneusement parcouru toutes les lignes de cette HDR afin de déceler les fautes d'orthographe et coquilles de mise en forme. J'associe aussi à ce remerciement mes parents et beaux-parents (en particulier Maman) pour s'être si bien occupé de mes enfants (les trois 😊) quand le travail prend le pas sur la vie de famille. Les amis m'ont aussi apporté un soutien sans faille : Sophie et Patrice qui ont fait croître mon « mind set » ; Christian qui est toujours là pour stimuler notre vivacité d'esprit et nous montrer les vertus du travail ; Michel et Gaétan, mes maîtres en musique, et leurs épouse ou conjointe respectives qui, au travers d'activités artistiques, nous indiquent la voie de l'excellence. Par votre présence et votre dynamisme, vous m'avez tous donné l'envie d'aller au bout de cette aventure.

La vie d'un chercheur est faite d'un travail nécessitant beaucoup de patience de la part de ses proches. Xavier, Yoann, Clara, j'ai bien conscience de vous avoir volé du temps (en particulier en cette rentrée scolaire 2015-2016 ou vous avez du vous débrouiller seuls). Vous avez compris ma passion pour le travail. J'espère vous démontrer au quotidien combien il est important de faire ce que l'on aime ! Comme il est d'usage, dans ce mémoire, je reste seule responsable des erreurs, des omissions ou de certains positionnements qui ne seront peut-être pas partagés par tous.

Table des matières

Liste des sigles ou acronymes	vii
Liste des figures.....	ix
Résumé court	x
Curriculum vitae détaillé	xi
1. Introduction.....	1
1.1 Accroître la participation sociale.....	2
1.2 La mobilité des seniors	3
1.3 Le bilan de l'insécurité routière des seniors.....	5
1.4 Vers une nécessaire articulation entre les politiques des transports et de sécurité routière avec la politique de santé publique	8
1.5 Le soutien à la mobilité des personnes âgées passe par la promotion de l'aptitude à la conduite.....	8
2. Objet de la recherche	10
2.1 Présentation de la problématique centrale	11
2.2 Une problématique étayée par une approche pluridisciplinaire	12
2.2.1 Apports de la psycho-Ergonomie	13
2.2.2 Apports des neurosciences sur le thème du vieillissement	14
2.2.3 Apports des neurosciences sur le thème de l'attention	15
2.3 Inflexions autour de cette problématique	15
2.3.1 Le modèle SOC de Baltes.....	15
2.3.2 Les mécanismes d'adaptation au vieillissement d'après Marquié et Isingrini.....	16
2.3.3 Le modèle du contrôle cognitif d'après Hoc et Amalberti	17
2.3.4 La capture attentionnelle en vision d'après Michael	19
3. Méthodologies mises en œuvre.....	21
3.1 Les enquêtes.....	21
3.2 Analyse de l'activité de conduite	22
3.3 Mise en œuvre d'expérimentations en psychologie expérimentale pour mieux comprendre l'influence de différents processus cognitifs.....	23
3.4 Le recours à la psycho-physiologie et aux neurosciences cognitives.....	23
3.4.1 La mesure de l'activité cardiaque et de la respiration	24
3.4.2 Oculométrie.....	24
3.4.3 Stimulation galvanique.....	25
3.5 Animation de la recherche	26
3.5.1 Animation des recherches autour des défauts d'attention au volant	26

3.5.2	Animation du groupe de travail Vieillesse, Handicap et Facteurs Capacitants (GDR CNRS 3169) devenue ensuite Commission Vieillesse d'ARPEGE	27
4.	Synthèse des principaux résultats obtenus.....	29
	Thème 1 : Analyse de l'activité de conduite des personnes âgées grâce aux apports de la psychologie ergonomique	29
T1.1	Préserver la sécurité de tous les usagers dont les seniors.....	30
T1.2	Mise en évidence des mécanismes d'adaptation aux effets du vieillissement cognitif....	32
	Thème 2 : La survenue de défauts d'attention en conduite automobile.....	36
T2.1	Etudier le contrôle attentionnel dans la sélection d'informations pertinentes dans des scènes visuelles complexes	36
T2.2	Le rétrécissement du champ visuel lié à l'âge impacte les performances de stationnement	36
T.2.3	Détecter l'inattention au volant : un enjeu de sécurité routière et un défi technologique.....	37
	Identifier les fractions de risque attribuables à différents types de défauts d'attention afin de mieux les prévenir	37
	Comprendre l'influence de différents défauts d'attention sur le comportement des conducteurs.....	37
5.	Projet scientifique	40
5.1	Accompagner la puissance publique sur certaines questions en lien avec la mobilité des seniors et la sécurité routière	42
5.1.1	Travaux de recherche et d'expertise en sécurité routière	42
	Poursuite du travail autour des mesures destinées à baisser l'accidentologie des personnes âgées.....	42
	Encadrement du travail des psychologues réalisant les examens psychotechniques du permis de conduire.....	43
5.1.2	Développer des collaborations avec les acteurs qui contribuent à une politique de sécurité routière efficiente.....	44
5.1.3	Développer des collaborations avec les acteurs qui contribuent à maintenir les seniors en bonne santé.....	50
	Favoriser la participation sociale en contribuant à la promotion de l'initiative « Villes amies des aînés »	50
	Promouvoir la conception d'environnements capacitants	52
5.2	Mieux prévenir les effets négatifs du vieillissement.....	53
5.2.1	Inventorier les stratégies d'adaptation au vieillissement et les déterminants de leur adoption	53
5.2.2	Identifier les leviers pour agir sur les comportements à risque des seniors.....	54
	Comprendre comment le changement de comportement opère	55
	Explorer le rôle de la conscience du risque associé aux comportements de conduite.....	56

Intervenir en faveur de l'agir instrumental	57
Intervenir en faveur de l'agir moral	58
Intervenir en faveur de l'agir expressif	59
Intervenir en réadaptation fonctionnelle.....	62
Déceler la fragilité évitable et offrir à nouveau la capacité à être mobile.....	63
5.3 Ne pas laisser les usagers âgés en marge de la révolution numérique qui s'opère dans le monde de la santé et celui du transport.....	65
5.3.1 La médecine à l'ère du numérique.....	65
5.3.2 La mobilité à l'ère du numérique	66
5.3.3 Les technologies et leur connexion contribuent à améliorer la sécurité routière : quelles opportunités et entraves pour les conducteurs âgés ?	66
5.3.4 L'avènement du véhicule autonome : des challenges à relever et des opportunités uniques de suppléance.....	69
5.4 Mettre en œuvre un continuum de mobilité par un continuum d'intervention	73
6. Conclusion générale	78
7. Références.....	81
8. Annexes	93
Annexe 1 : Les données de santé qui doivent nous interpeller	93
Annexe 2 : Arrêté et sa circulaire	100
Annexe 3 : Synthèse des recommandations HAS.....	112
Annexe 4 : Détails sur mes enseignements et la formation par la recherche	115
Annexe 5 : Liste des productions scientifiques	116
Annexe 6 : Sélection d'articles	130
Annexe 7 : Résumé long en anglais	190

Liste des sigles ou acronymes

- AAI : Active Aging Index
- AFU : Assistance au Freinage d’Urgence
- ANR : Agence Nationale de la Recherche
- ANT : Attentional Network Task
- APIC : Accompagnement Personnalisé à l’Intégration Communautaire
- ARPEGE : Association pour la Recherche en Psychologie ErGonomique et Ergonomie
- ASR : Arythmie Sinusale Respiratoire
- BAAC : Bulletin d’Analyse des Accidents de la Circulation
- CIHR-IRSC : Canadian Institute of Health Research - Institut de Recherche en Santé du Canada
- CIRS : Cumulative Illness Rating Scale
- CISR : Conseil Interministériel de Sécurité Routière
- CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
- CNSR : Conseil National de Sécurité Routière
- CNV : Contingent Negative Variation
- DBQ : driver Behavior Questionnaire
- DSCR : Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières
- EEG : ElectroEncéphaloGraphie
- EMC : Etude des Mécanismes Cognitifs
- ENTD : Enquête Nationale Transport Déplacement
- ESP : Electronic Stabilisation Program
- GDR : Groupement De Recherche
- GT : Groupe de Travail
- HAS : Haute Autorité de Santé
- HDR : Habilitation à Diriger des Recherches
- IDRRIM : Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité
- IHM : Interaction Homme Machine
- INSERR : Institut National de Sécurité Routière Et de Recherches
- IPS : Indice de Participation Sociale
- IRMf : Imagerie par Raisonance Magnétique fonctionnelle
- ISAE : Institut Supérieur de l’Aéronautique
- JTR : Journées Techniques Routes
- LCT : Lane Change Task
- MAM : Master Activation Map
- MEEM : Ministère de l’Environnement, de l’Energie et de la Mer
- MS : Mal du Simulateur
- OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- OSCAR : Outil de Sensibilisation aux capacités requises pour une Conduite Automobile sécuritaire et Responsable
- PAPM : Precaution Adoption Process Model
- PC : Permis de Conduire
- RESACCEL : Réseau régional de soins et d’accompagnement des personnes cérébrolésées en Rhône Alpes
- RESAT : Réseau Eveil Sommeil Attention pour les Transports

- SAAQ : Société de l'Assurance Automobile du Québec
- SGC : Stimulation Galvanique Cutanée
- SGV : Stimulation Galvanique Vestibulaire
- SOC : Selection, Optimization, Compensation
- TDAH : Troubles Déficitaires de l'Attention avec Hyperactivité
- TMT : Trail Making Test
- TRIP : Test Ride for Investigating Pratical fitness to drive
- UFOV : Useful Field Of View
- VP-MW : Vagabondage de la Pensée – Mind Wandering
- VRC : Variation du Rythme Cardiaque

Liste des figures

Figure 1a & 1b : Illustration des changements démographiques en France et à l'étranger	1
Figure 2 : Les quatre dimensions et 24 domaines de l'index de vieillissement actif	2
Figure 3 : Gênes déclarées lors des déplacements (ENTD 2008, exploitation Auxilia)	4
Figure 4 : Motifs de réduction et de renoncement à la mobilité après 60 ans (Auxilia, 2014).....	4
Figure 5 : Démarches inductive et hypothético-déductive (d'après Giordano et al., 2012).....	10
Figure 6 : Complémentarité de trois méthodes permettant d'étudier les mécanismes neuronaux de l'attention (d'après Rueda et al., 2015)	15
Figure 7 : Exemples de mécanismes de sélection, optimisation et compensation (tirés de Freund & Baltes, 2002).....	16
Figure 8 : Mécanismes d'adaptation au vieillissement cognitif – effets optimisateurs de l'expérience (d'après Marquié, 1993).....	17
Figure 9 :Face cognitive du modèle du contrôle dynamique de la situation (d'après Hoc et al., 2009).....	19
Figure 10 : Représentation schématique du modèle MAM (d'après Michael et al., 2013)	20
Figure 11 : Modèle d'accompagnement des conducteurs dans l'obtention et le renouvellement de leur permis de conduire	31
Figure 12 : Bilan des travaux mis en œuvre auprès de conducteurs âgés afin d'étudier le réglage du contrôle cognitif (d'après Hoc et al., 2009).....	35
Figure 13 : Potentiels évoqués représentant la CNV et les ondes N1 et P3 pour l'ensemble des participants, puis séparément dans deux groupes pour les 4 conditions expérimentales.....	38
Figure 14 : Véhicules instrumentés utilisés pour les expérimentations sur route et en simulateur	38
Figure 15 : Comment sortir le conducteur du labyrinthe de ses pensées ?.....	39
Figure 16 : Représentation des différentes étapes du modèle du processus d'adoption du comportement de précaution, d'après Weinstein, Sandman, & Blalock, 2008.....	55
Figure 17 : Cadre conceptuel pour étudier la calibration en conduite automobile.....	61
Figure 18 : Illustration de la complexité de l'intégration de nombreuses technologies et de ses interactions avec le conducteur (Source : Yves page, Renault)	68
Figure 19 : Illustration du changement de paradigme lors du passage de l'utilisation d'un véhicule automatisé à un véhicule autonome (source : Fraunhofer).	70
Figure 20 : Cadre conceptuel élargi à l'utilisation d'automates.....	72
Figure 21 : Représentation schématique pour la planification en matière de santé de la population (d'après Kindig et al., 2008).....	80
Figures 22 a, b, c : Changements démographiques et impacts sur le système de santé.....	93
Figure 23 : Représentation schématique du déclin des capacités fonctionnelles	94
Figure 24 : Outil de repérage de la fragilité (utilisé en soins ambulatoires)	95
Figure 25 : Les quatre dimensions et 24 domaines de l'index de vieillissement actif	97
Figure 26 : Comparaison des Index de Vieillessement Actif au sein des 28 pays de l'Union Européenne	97
Figure 27 : Comparaison, par dimension, des Index de Vieillessement Actif au sein des 28 pays de l'Union Européenne.....	98
Figure 28 : Evolution de l'espérance de vie.....	99

Résumé court

Afin de préserver l'autonomie et la qualité de vie de nos aînés, il est indispensable de concilier des exigences de sécurité et de mobilité. L'action publique en sécurité routière peut être renouvelée en étant sensibilisée à la question de la sécurité gérée, c'est à dire en procédant à une logique de recherche des rationalités sous-jacentes aux comportements observés. Ceci nécessite d'étudier la sécurité en action à partir de l'analyse de l'activité de conduite de nos aînés. La plupart des conducteurs âgés utilisent leurs capacités dans le but de bâtir une réponse adaptée aux situations de conduite rencontrées. Ces capacités d'adaptation leur permettent de rester aptes à conduire. Une telle démarche permet de partir des pratiques pour redéfinir les règles de « bonne conduite » et ainsi apporter un éclairage nouveau sur la question du bilan d'aptitude à la conduite.

La conduite, terme polysémique pris ici dans son sens générique, contient : une partie objectivable (le comportement) et une partie non objectivable : le motif, le mobile, l(es) acte(s) de pensée qui accompagnent précèdent ou suivent un comportement. Les travaux que j'ai menés tentent d'élucider les processus cognitifs, affectifs et conatifs pour saisir les chainons intermédiaires des processus en cause dans nos conduites ; nous fondons nos investigations sur des processus intra et intersubjectifs. Cette démarche nous permet d'objectiver les causes d'un comportement. Cependant, afin de mieux les comprendre, elle doit être accompagnée par une démarche d'observation : en effet, par l'observation, on objective les raisons d'agir en construisant a posteriori une argumentation à partir des comportements observés et des déclarations faites par les individus. Les deux approches sont complémentaires, elles permettent d'expliquer et de comprendre afin, au final, de pouvoir mieux agir.

Une notion centrale dans l'étude de l'adaptation au vieillissement cognitif normal est celle de contrôle cognitif. L'étude du contrôle cognitif en conduite automobile permet de décrire différentes modalités de l'adaptation. Afin de comprendre les comportements de nos aînés, il est aussi nécessaire de prendre en compte leurs situations, leurs besoins, leurs environnements physique et social afin de mieux décrire les difficultés rencontrées et les risques encourus. La complémentarité de différents outils et méthodes utilisés pour aborder cette problématique est ainsi abordée. Les recherches menées à ce jour contribuent à préciser les objectifs à atteindre, à définir les actions prioritaires et à prendre des décisions rationnelles qui maximisent à la fois la mobilité et la sécurité des conducteurs âgés. Au travers d'exemples, nous verrons comment certains conducteurs âgés agissent en sécurité face aux perturbations apparaissant avec le vieillissement et comment nous pouvons identifier ceux qui ne s'adaptent pas de façon optimale. Nous verrons que **la notion de biais d'estimation est centrale dans la mise en œuvre d'autorégulations comportementales**. Ces recherches ont permis de mettre en œuvre des programmes d'entraînement destinés aux conducteurs âgés présentant un biais d'évaluation cognitive. Les premiers résultats indiquent que l'intervention semble efficace pour améliorer la calibration cognitive des participants, cette piste est novatrice. Elle permet d'accompagner les changements de comportements et ainsi améliorer le confort et la sécurité des conducteurs âgés.

Les travaux présentés soulignent aussi la nécessité de penser les questions de santé dans leur complexité et de ne plus aborder cette question de l'aptitude à la conduite sous l'angle d'une unique politique de sécurité routière. Pour bénéficier d'un vieillissement réussi, la personne âgée doit évoluer avec son milieu et s'adapter, la progression des connaissances sur cette notion d'adaptation est donc essentielle. Les connaissances acquises sur l'adaptation au vieillissement cognitif doivent maintenant être mises à profit afin de mettre en place des interventions destinées à accompagner les personnes âgées dans les différents stades d'adoption de comportement de précaution. Dans les perspectives tracées dans ce travail d'HDR, nous proposons de développer différentes actions afin de promouvoir un continuum de mobilité pour nos aînés. Il sera nécessaire de prévoir d'évaluer l'efficacité des différentes interventions proposées, des premières propositions sont formulées.

Curriculum vitae détaillé

CATHERINE GABAUDE

Née le 10 mai 1968
Chargée de Recherche 1^{ière}
classe
Affectée le 1^{er} septembre 2002
Vie maritale
Deux enfants (nés en 1999 et
2005)

IFSTTAR/Département
TS2/LESCOT
Case 24,
25 avenue François Mitterrand
69675 BRON Cedex
Téléphone : 04 72 14 24 50
catherine.gabaude@ifsttar.fr



DIPLOMES ET TITRES

2003 Accessit Award au séminaire « jeunes chercheurs » ECTRI-FERSI
2001 Doctorat de Neurosciences, mention très honorable avec les félicitations du jury
Titre « Contribution à l'étude de la perception visuo-attentionnelle : exploration des effets du vieillissement et développement d'un outil d'aide au diagnostic et de suivi ». Soutenue le 8 novembre 2001, Directeur de thèse : A. Pauzié, Rapporteurs : Colette Fabrigoule (CNRS), Jean-Claude Marquié (CNRS), Jury : A. Bergeret (univ. Lyon 1), J.P. Menu (IMN SSA), J.A. Rothengatter (Univ. Groningen).
1995 DEA de neurosciences (Titre « Champ visuel utile chez les conducteurs âgés : processus attentionnels dans la perception de stimuli excentrés »).

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

Depuis 2013 Co-Animateur de l'axe 1 du Contrat d'objectif et de performance IFSTTAR « Innover pour une mobilité durable et responsable » (mi-temps) et Chargée de recherche titulaire IFSTTAR
Depuis 2002 Chargée de recherche titulaire IFSTTAR (CR1 depuis novembre 2008)
2001-2002 Chargée de Recherche contractuelle INRETS (projet VISA, Fondation MAIF)
1997-2000 Allocataire de recherche INRETS
1996 Chargée de mission, projet Européen VODIS, Evaluation et amélioration d'une interface Homme-Machine
1995 Ergonome Consultante, projet CEESAR, rédaction de synthèses bibliographiques critiques relatives aux différents systèmes d'aide à la conduite existants

FORMATION CONTINUE

- Sauveteur secouriste du travail et manipulation extincteur (2016)
- Introduction à la programmation objet et utilisation de la plateforme logicielle BIND (2012)
- Avancées statistiques récentes en analyse causale, les ateliers de formation de l'INSERM (2011)
- Management, Encadrement intermédiaire pour les responsables opérationnels (2010)
- La mémoire humaine et sa pathologie : approche multidisciplinaire, formation INSERM (2009)
- Introduction aux plans d'expérience (2008)
- Développement du travail en mode projet (2007 - 2008)

LANGUES Anglais : lu, parlé, écrit
 Espagnol : lu, parlé

ACTIVITES D'ANIMATION DE LA RECHERCHE

- Responsable de l'axe attention du RESAT (Réseau Eveil Sommeil Attention Transport ; de 2006 à 2013)
- Animateur de la commission Vieillesse et Facteurs Capacitants d'ARPEGE (de 2012 à 2015)
- Membre du comité d'organisation du Symposium ARPEGE 2012, Paris (association pour la recherche en Ergonomie et Psycho-Ergonomie)
- Membre du comité d'organisation du colloque de synthèse et de perspectives du GDR Psycho-Ergo (CNRS n°3169, 2008-2011)
- Responsable du GT4 « Vieillesse, Handicap et facteurs capacitants » du GDR psycho-Ergo (co-animation avec Jean-Claude Marquié)
- Directrice du comité d'organisation de la Journée spécialisée du RESAT, Lyon, 26 novembre 2009

RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE

- Membre du comité d'expertise des doctorales Epique 2015
- Membre du comité d'expertise du colloque Epique 2013
- Membre du conseil d'administration d'ARPEGE (de 2012 à 2015)
- Membre du conseil de groupement du GDR Psycho-Ergo (de 2009 à 2012)
- Membre du comité de pilotage du RESAT (Réseau Eveil Sommeil Attention Transport ; de 2009 à 2013)
- Membre du comité de sélection pour un poste de maître de conférence à l'université de Caen (2011, MCF 868)

ACTIVITES INSTITUTIONNELLES

- Animateur de l'axe 1 du Contrat d'objectif et de performance IFSTTAR (depuis 2013)
- Membre du groupe de travail appui aux politiques publiques
- Co-animateur du Comité Technique Sécurité des Déplacements Routiers (partenariat Cerema-Ifsttar ; depuis 2015)
- Membre élu à la Commission d'Evaluation des Chercheurs Ifsttar (de 2006 à 2015)
- Animateur de la Chorale Ifsttar (de 2002 à 2013)

THEMES DE RECHERCHE

Thème 1 : Analyse de l'activité de conduite des personnes âgées grâce aux apports de la psycho-ergonomie

- Identification des difficultés rencontrées par les conducteurs âgés grâce à l'étude de leur accidentologie (Collaboration IFSTTAR-UMRESTTE)
- Développement d'outils d'évaluation de la performance de conduite (collaboration IFSTTAR-LEPSIS)
- Etude des variabilités intra-individuelle, inter-individuelle et inter-groupe expliquant les différences de performance en conduite automobile (collaboration CLLE-LTC)
- Mise en évidence des mécanismes d'adaptation aux effets du vieillissement (collaboration CLLE-LTC)

Thème 2 : Analyse des effets de l'âge sur la survenue de défauts d'attention en conduite automobile

- Définition d'un cadre conceptuel pour l'étude des défauts d'attention (collaboration RESAT)
- Etude des mécanismes d'orientation de l'attention (collaboration CLLE-LTC, Univ. Toulouse 2, EMC, Univ. Lyon 2 et Lutin, Univ. Paris 8)
- Etude des dimensions d'intensité et de sélectivité de l'attention via l'analyse de la variabilité du rythme cardiaque (collaboration Univ. Lyon 2, Univ. Albi)
-

ENSEIGNEMENT, FORMATION ET DIFFUSION DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE

Enseignements :

- Depuis 2014 : TD en M2 Pro SCA: Sciences Cognitives Appliquées – 12h (univ. Lyon 2)
- Depuis 2014 : CM en L2 Sciences Cognitives et application – 16 h (univ. Lyon 2)
- Depuis 2011 : TD en L2 Sciences Ergonomie Cognitive – 32 h (univ. Lyon 2)
- 2011 - 2013 : TD en L2 Sciences Cognitives et application – 48 h (univ. Lyon 2)
- 2002 : CM au DU d'Ingénierie du Vieillissement – 3 h (univ. Orsay)
- 2001 : CM Présentation des formations françaises en Ergonomie – 2 h (Université Keio, Japon)
- 1997-2000 : TD en Informatique Bureautique, Excel et programmation VBA – 64 h (ENTPE)

Encadrement de 27 étudiants :

- 2 post-doc en psychologie cognitive : Galvez-Garcia G. (univ. Granada, Espagne ; 100%), Jallais C. (univ. Nantes, France, 50%).
- 5 thèses en psychologie cognitive : Pepin G. (univ. Lyon 2 ; 80%), Hay M. (80%), Douissembekov E. (univ. Lyon 2 ; 25%), Moták L. (univ. Lyon 2 ; 80%), Obriot-Claudiel F. (univ. Toulouse 2, 80%).
- 6 Master 2 : Malin S., Pépin G., Adam N., Biela E. (en Psychologie Cognitive ou sciences cognitives, univ. Lyon 2), Deniaud C. (en Ergonomie, univ. Orsay), Haddab Z. (Informatique option image).
- 13 Master 1 en Psychologie Cognitive ou Sciences Cognitives : Saidi F., Coutie L., Blein E., Taillefer S., Iordannof M., Pépin G., Palluet M., Rolland V., Carotte A., Bonniaud M., Cerf J.E., Monsérié S., Clark M. (Univ. Lyon 2)
- 1 DESS en statistiques : Gigout E. (Extraction de connaissances à partir des données, Univ. Lyon 2).

Diffusion de la culture scientifique

- Expertise d'article pour : Neurosciences (1), Psychologie Française (2), Accident Analysis and Prevention (5), Traffic Injury Prevention (1), Transportation Research Part F (3), Le travail Humain (5), Recherche Transport et Sécurité (1), Colloque jeunes chercheurs en sciences cognitives (2).
- Expert pour l'atelier presse de présentation des deux réformes de sécurité routière entrant en vigueur au 1^{er} juillet 2015, Ministère de l'intérieur, Paris, France, 18 juin 2015.
- Participation à la commission d'enquête parlementaire sur le thème Fatigue et défauts d'attention comme facteurs de risque d'accident (introduction à la table ronde), Assemblée nationale, Paris, France, 2 septembre 2011.
- Expertise de projets de recherche pour l'ANR (représentante sciences humaines pour l'appel VTT 2008) et le fond de Recherche Nature et Technologies du Québec (2011)
- Participation à la PFI « Situations de handicap et transport » et à la PFI « Apprentissage tout au long de la vie »

ACTIVITES DE VALORISATION

- Coordinatrice du Projet Pro-Conduite (CPCFQ, Biennium 2015-2016)
- Coordination du projet ATLAS « Assessing Traffic related Low Attentional Status » (ANR-VTT09, 2009-2013)
- Membre du comité de pilotage du projet SAFE MOVE, coordinatrice du SP2 (ANR-TTD-10, 2010-2015)
- Collaboration IFSTAR-VALEO « Réalisation de manœuvres à basses vitesses par les conducteurs âgés » (2011-2014)
- Partenaire du projet CONSOL (Road Safety in the Ageing Societies : CONCerns and SOLutions), DG TREN/SUB01-2010 (2011-2013)
- Coordination du projet DACOTA « défauts d'attention en conduite automobile » (ANR-VTT05, 2006-2009)
- Partenaire du projet CONSENSUS (Promoting CONSENSUS in assessing driving ability of PSN through common methodologies and normative tools), DG INFOSO (2002-2004)

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

	Code	Nombre total
Article dans revue à comité de lecture répertoriée dans les BDI JCR, Scopus, ERIH, HCRES ¹	ACL	19
Article dans revue à comité de lecture non répertoriée dans les BDI JCR, Scopus, ERIH, AEREL	ACLN	3
Article dans revue sans comité de lecture	ASCL	2
Direction d'ouvrage	DO	1
Ouvrage scientifique ou chapitre	OS	9
Conférence invitée dans un congrès international ou national (INV) ²	INV	11
Communication avec actes dans un congrès international	ACTI	7
Communication avec actes dans un congrès national	ACTN	2
Communication orale sans actes dans un congrès international ou national	COM	61
Communication par affiche dans un congrès international ou national	AFF	17
Rapport de recherche	RAPP	22
Rapport d'expertise	RAPP-EX	1
Ouvrage de vulgarisation ou chapitre	OV	2

Liste des 5 publications les plus significatives au cours des 5 dernières années :

1. Brelet, L., Moták, L., Ginet, M., Huet, N., Izaute, M., **Gabaude**, C. (in press). Enhancing older drivers' safety: on effects induced by stereotype threat to older adults' driving performance, working memory and self-regulation. *Geriatrics*, 2016, 1-20. doi:10.3390/geriatrics1030020
2. Douissembekov, E., **Gabaude**, C., Rogé, J., Navarro, J. Michael, & G.A. (2014). Parking and manoeuvring among older drivers: a survey investigating special needs and difficulties. *Transportation research part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 238-245.
3. 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, 18-27.
4. **Gabaude**, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.) (2012). *Human Factors: a view from an integrative perspective. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse*, 67-80. ISBN 978-0-945289-44-9. Available from <http://hfes-europe.org>.
5. Moták, L., Huet, N., **Gabaude**, C., & Bougeant, J.-C. (2012). Older Drivers' Self-Regulation: Discrepancy Reduction or Region of Proximal Learning? *Psychology and Aging*, 27(4), 1164-1171.

*« Mystérieuse au grand jour, la nature ne se laisse point dévoiler, et il n'est ni levier ni machine
qui puisse la contraindre à faire voir à mon esprit ce qu'elle a résolu de lui cacher »*

Johan Wolfgang Von Goethe

1. Introduction

La France comme l'ensemble des pays du globe doit faire face à un nouveau phénomène : le vieillissement de sa population. La population des soixante ans ou plus est celle qui augmente le plus vite en raison d'une amélioration de la santé et des conditions socio-économiques dans lesquelles nous vivons, ce qui en soit représente un vrai succès pour les politiques de santé. Ce phénomène est plus ou moins marqué suivant les pays. Ces dernières années, nous pensions que la diminution du taux de fécondité et le vieillissement de la population concernaient principalement les pays à revenu élevés, on s'est ensuite aperçu que ce changement démographique est désormais particulièrement marqué dans les pays en développement. Les projections démographique à 2050, indiquent que, pour certains pays comme la chine, le pourcentage des plus de 65 ans par rapport à la population active va tripler. En Europe, il va doubler alors qu'aux Etats-Unis la situation est moins alarmante (Figure 1a). On comprend ainsi que les pays sont plus ou moins concernés par ce phénomène et vont ainsi être plus ou moins moteur dans l'impulsion d'un changement. **En France, le nombre de personnes de plus de 80 ans va être multiplié par 4** entre 2011 et 2035 et parmi les 6 millions de personnes de plus de 80 ans les prévisions s'accordent à dire que l'on trouvera 1,2 million de personnes dépendantes (Figure 1b). Dans beaucoup de pays, la question du vieillissement de la population soulève de très nombreux défis pour les pouvoirs publics mais aussi pour **la société dans son ensemble qui doit s'adapter**. Il convient de revoir complètement nos croyances et attitudes vis-à-vis du vieillissement (Humphreys, 2012) et d'entrevoir de nouveaux horizons qui vont permettre aux citoyens de bien vieillir et de rester autonome le plus longtemps possible.

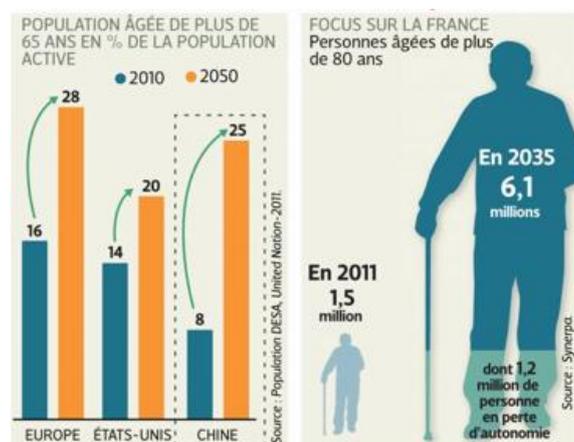


Figure 1a & 1b : Illustration des changements démographiques en France et à l'étranger

De nombreuses données de santé doivent nous interpeler (elles sont détaillées en Annexe 1), elles nous conduisent à un nécessaire changement d'attitude envers les personnes âgées afin de lutter contre l'âgisme et permettre à nos concitoyens de vieillir tout en restant actifs. En effet, lorsque l'on prend de l'âge, pour rester actif il ne suffit pas de faire de l'exercice et de se soigner. Il semble aussi nécessaire de continuer à participer à la vie sociale, économique, culturelle et civique. Ainsi, pour faire participer les personnes âgées, les politiques publiques ne doivent pas se contenter d'encourager la pratique d'activités sportives et l'usage des modes doux pour le transport. Pour que les gens puissent rester actifs en prenant de l'âge, il faut repenser entièrement leur rôle dans la société en favorisant

leur implication dans les activités économiques, sociales, culturelles, spirituelles et citoyennes. Afin de promouvoir cette approche, l'Union Européenne a désigné l'année 2012 comme Année Européenne du Vieillessement Actif et de la solidarité entre les générations. « *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 peut être encouragé de diverses façons, en améliorant la sécurité routière des seniors, en aménageant par exemple les espaces urbains pour faciliter leur mobilité, par la création de clubs sociaux, en rendant les soins plus accessibles ou en incitant les aînés à contribuer à l'économie et à la société de façon proportionnelle à leurs capacités (implication politique, bénévolat, etc.). Ces engagements présupposent également une coopération intergénérationnelle afin que chacun trouve sa place et que la société puisse s'adapter à tous les âges.

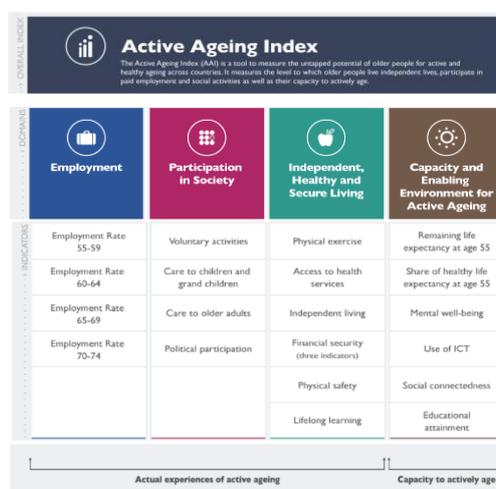


Figure 2 : Les quatre dimensions et 24 domaines de l'index de vieillissement actif

Dans le but d'évaluer la politique en matière de vieillissement actif et de solidarité entre les générations, un index de vieillissement actif a été mise au point¹ (Figure 2, voir aussi la présentation de cet index en Annexe 1). Cette méthode permet de visualiser rapidement les dimensions sur lesquelles les disparités au sein des pays de l'Union Européenne interrogent, comme l'emploi et la mise à disposition d'environnements capacitants et les dimensions sur lesquelles il semble facile d'agir, comme l'amélioration de la participation sociale (Annexe 1, Figure 27).

1.1 Accroître la participation sociale

On recense autour du concept de participation une littérature foisonnante. Ce concept a été utilisé dans plusieurs domaines scientifiques dont en particulier les politiques sociales et urbaines et son usage récurrent s'explique parce qu'il permet de mettre en œuvre l'idéal démocratique et défend le principe d'égalité des citoyens (Bresson, 2014). Une équipe de chercheurs canadiens a examiné tous les écrits sur la participation sociale pour tenter, à partir de quarante-trois définitions identifiées, d'en présenter une définition consensuelle : « implication de la personne dans des activités en interaction avec les autres » (Levasseur et al., 2010). Elle consiste donc en la réalisation de ses habitudes de vie

¹ European Centre Vienna (2013). Active Ageing Index 2012 Concept, Methodology and Final Results. Methodology Report Submitted to European Commission's DG Employment, Social Affairs and Inclusion, and to Population Unit, UNECE, Vienne, Autriche.

dans son milieu social. Une taxonomie des activités sociales a aussi été élaborée, elle révèle une organisation hiérarchique claire et systématique. Elle comprend six niveaux :

1. Se préparer à entrer en relation avec d'autres
2. Etre avec d'autres à proximité sans toutefois être en interaction avec eux
3. Interagir avec d'autres sans faire une activité spécifique avec eux
4. Faire une activité avec d'autres
5. Aider les autres
6. Contribuer à la société

Considérant son caractère modifiable, la participation sociale est l'une des cibles majeures des interventions de santé et le transport est déterminant dans sa promotion. Il s'agit d'une dimension clé du vieillissement réussi. Elle est associée à plusieurs résultantes de santé : ralentissement du déclin cognitif et fonctionnel, diminution de la consommation de médicaments et des symptômes dépressifs, amélioration de la perception de l'état de santé et augmentation de la sensation de bien-être (Raymond et al., 2011). Les niveaux de participation sociale et les obstacles rencontrés dans l'environnement physique de la personne diffèrent en fonction de son niveau d'activité ; la qualité de vie déclarée décroît avec le niveau d'activité (Levasseur et al., 2008). L'association entre participation sociale et autonomie fonctionnelle est modérée par différents facteurs : la proximité des ressources (Levasseur et al., 2011) et l'accessibilité à des moyens de transport (Levasseur et al., 2012). Il est donc possible de faciliter la participation sociale de personnes en perte d'autonomie fonctionnelle en optimisant leurs environnements.

Par ailleurs, la mobilité offre aux personnes âgées de très nombreux bénéfices intrinsèques : elle facilite leur indépendance, réduit leur isolement et améliore l'activité physique (Mackette et al., 2011²). La participation sociale est aussi fortement liée à la mobilité des personnes âgées au sein de leur commune (Verdonschot et al., 2009) mais aussi dans leur lieu de résidence (Hamzat et al., 2008).

1.2 La mobilité des seniors

En France, les données de l'Enquête Nationale Transport Déplacement permettent de décrire les évolutions en matière de mobilité et d'étudier les caractéristiques de certaines classes d'âges au sein de la population. Compte tenu du coût de telles enquêtes, celle-ci n'a pas été renouvelée depuis 2008 mais l'évolution des tendances de la mobilité des seniors peut tout de même être présentée. En comparant les données de 1994 à celle de 2008, le laboratoire de la Mobilité inclusive a produit une synthèse décrivant les grandes tendances de la mobilité des seniors en France (Auxilia, 2014³): en 2008, les seniors se déplacent moins que le reste de la population mais ils se déplacent plus qu'en 1994 (les déplacements sont plus nombreux, la part de personnes immobiles a diminuée) ; la part des seniors motorisés est plus grande et 78 % des plus de 65 ans possédaient le permis de conduire en 2008, un chiffre en augmentation, particulièrement chez les femmes ; la voiture, dont l'usage augmente également, est devenue la première solution de déplacement pour les seniors, même pour ceux dont les revenus sont les plus faibles ; en effet, les transports publics représentent 5,1 % de pratique modale chez les 65 ans et plus contre 8,3 % pour l'ensemble de la population et la part modale du vélo est encore plus faible, 3,2 % des 65-74 ans pratiquent le vélo en mode principal, contre 2,9 % pour le reste de la population.

² <http://www.ucl.ac.uk/news/pdf/transportactivityhealth.pdf>

³ http://www.mobiliteinclusive.com/sources_2/projet/Mobilit%C3%A9-des-Seniors-en-France.pdf

Gênes pour se déplacer déclarées (ENTD 2008, exploitation Auxilia)			
Base 10 420 individus	60 à 64 ans	65 à 74 ans	plus de 75 ans
Pourcentages d'individus déclarant une gêne pour se déplacer	8 %	16 %	44 %
Nombre moyen de gênes par individu (parmi ceux déclarant une gêne au moins)	2,21	2,34	2,69
Répartition des gênes			
Marcher 	24 %	25 %	25 %
Rouler à deux-roues 	21 %	20 %	18 %
Monter / descendre d'une voiture 	13 %	13 %	14 %
Rester longtemps assis 	15 %	13 %	10 %
Maîtrise du véhicule 	10 %	9 %	11 %
Accès station ou quai 	8 %	9 %	9 %
Demander un renseignement 	2 %	2 %	2 %
Utiliser une billetterie automatique 	3 %	3 %	4 %
Lire un plan / horaire 	3 %	3 %	3 %
Composter un billet 	0 %	1 %	1 %
Se diriger vers une gare ou une station 	2 %	3 %	3 %

Figure 3 : Gênes déclarées lors des déplacements (ENTD 2008, exploitation Auxilia)

Lorsque l'on observe le pourcentage d'individus déclarant une gêne pour se déplacer et le nombre moyen de gênes déclarées par individu, les valeurs augmentent fortement avec l'âge. La marche étant la catégorie recueillant les plus forts taux de gênes déclarées, on comprend assez facilement pourquoi l'usage de la voiture reste le mode privilégié pour les seniors.

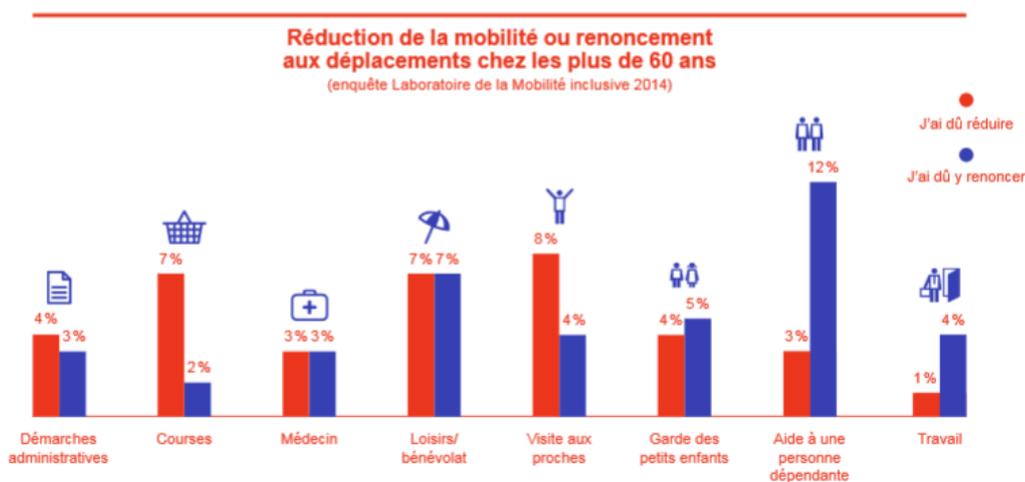


Figure 4 : Motifs de réduction et de renoncement à la mobilité après 60 ans (Auxilia, 2014)

L'analyse des motifs de réduction de la mobilité, offre un éclairage particulier sur les défis sociétaux auxquels nous devons faire face. On s'aperçoit que les personnes âgées restreignent en priorité les actions qui contribuaient à leur participation sociale comme faire les courses, offrir du bénévolat et des visites aux proches. Pour pallier à ces restrictions il est important qu'elles disposent de ressources et services de proximité. Quant au plus fort motif de renoncement, au déplacement il s'agit de renoncer à aider une personne dépendante, ce qui alourdi encore plus le fardeau de la dépendance. Les enjeux sociétaux liés à la mobilité des seniors sont majeurs, il convient de trouver des solutions pour prolonger au mieux leur mobilité. Les évolutions observées ces dernières années montrent que, pour les cohortes actuelles, cela passe encore par la promotion d'une conduite automobile sécuritaire. Dans les années à venir, il faut encore s'attendre à une augmentation importante du nombre de personnes âgées qui auront leurs permis de conduire et l'arrivée des « baby-boomers » pourrait modifier ces données de mobilité. Certains auteurs mentionnent qu'ils conduiront certainement plus (Wang et al., 2004). Afin de promouvoir une mobilité sécuritaire pour tous nos aînés et gérer leur diversité, il sera aussi nécessaire de promouvoir d'autres formes de mobilité (Marin-Lamellet & Hausteijn, 2015), des réflexions devraient ainsi être menées sur : l'accessibilité des informations transport pour cette population, la mise en place d'interventions pour inciter cette population au moment opportun (i.e. avant que leurs capacités fonctionnelles n'ait pas encore décliné) à ne pas dépendre exclusivement de la voiture ; l'entraînement à l'utilisation de ces nouveaux modes de transport, l'accompagnement vers la mise en place d'un transport à la demande.

1.3 Le bilan de l'insécurité routière des seniors

Un des premiers défis pour les pouvoirs publics est de veiller à ce que le bilan de l'insécurité routière ne se dégrade pas alors que, d'année en année, les seniors seront plus nombreux sur nos routes. Au niveau international plusieurs équipes ont analysé l'évolution de l'accidentologie au cours de dernières décennies. Un résultat encourageant est à mentionner : le nombre d'accidents mortels et corporels baisse de décade en décade et dans certains pays, Etats-Unis et Australie, cette baisse est plus prononcée pour les plus de 70 ans (Macinko et al., 2015 ; Cicchino et al, 2014). Parmi les facteurs explicatifs évoqués, les auteurs mentionnent deux changements majeurs : la mise en œuvre de nouvelles politiques (promotion de nouveaux modes de transport, progrès en santé et amélioration des infrastructures routières) et le perfectionnement des véhicules (airbag latéraux et amélioration de la compatibilité des véhicules). Ces tendances sont encourageantes mais il est nécessaire d'observer plus précisément l'accidentologie des seniors pour savoir comment ces accidents pourraient être évités.

Dans la littérature, il est difficile de trouver un consensus sur les risques encourus par les conducteurs âgés et ceux qu'ils font encourir aux autres conducteurs. De nombreux auteurs, en calculant des taux d'accident selon les distances parcourues, ont défendu que le risque de décéder dans un accident était élevé à la fois pour les jeunes conducteurs mais aussi pour les conducteurs de plus de 70 ans (Evans, 2000; Braver and Trempe, 2004; Dellinger et al., 2004). Cet indicateur qui se réfère aux kilomètres parcourus n'est pas adéquat pour étudier le risque des conducteurs seniors. En effet, avec l'avancée en âge le kilométrage annuel ne cesse de décroître (Ball et al., 1998), le phénomène n'est donc pas alarmant. Cependant, pour les conducteurs âgés qui parcourent moins de 3000 km par an, un risque de collision plus élevé a été démontré (Langford et al., 2006 ; Hakamies-Blomqvist et al., 2002 ; Fontaine, 2003). Afin de préserver la sécurité de ces conducteurs il est nécessaire de mettre en place des actions particulières.

Concernant le risque pour autrui, il est possible d'estimer la menace que représentent les conducteurs âgés en estimant le nombre d'années de vie perdues pour les conducteurs et les autres impliqués dans les accidents et en les attribuant ensuite à chaque classes d'âge. Avec cette méthode, il a été démontré que les conducteurs âgés sont plutôt moins dangereux pour les autres impliqués que les conducteurs plus jeunes (Lafont et al., 2008). En mettant en synergie l'épidémiologie et la psychologie cognitive, nous avons pu vérifier que ce résultat soit le même quelle que soit la situation de conduite : aussi bien en situation normale, qu'en changement de voie, qu'en intersection ou en circulant sur une mauvaise voie (Lafont et al., 2010b). Avec cette méthode, **nous avons ainsi pu établir que**, quelque soit la situation de conduite, **les conducteurs âgés ne représentent donc pas une menace pour les autres conducteurs.**

Par ailleurs, dans de nombreuses études, les conducteurs âgés ont été considérés comme un groupe homogène alors qu'entre 65 et 95 ans de multiples trajectoires de vieillissement peuvent différemment influencer l'accidentologie. Rakotonirainy et al. (2012) mentionnent que parmi l'ensemble des conducteurs âgés, les sexagénaires sont moins souvent jugés responsables et plus souvent impliqués dans des accidents dans des échangeurs ou des accidents résultant de la fatigue ou de la consommation d'alcool, de 70 à 79 ans le niveau de responsabilité n'est ni plus élevé ni plus faible et les conducteurs sont plus impliqués dans des refus de priorités, puis à partir de 80 ans, le niveau de responsabilité et le risque d'être sérieusement blessé ou tué sont plus élevés et le nombre d'accidents en intersections augmente. Ce type d'étude permet de mieux comprendre les dangers encourus par les conducteurs âgés. Il semble ainsi que les niveaux de responsabilité et les configurations d'accident changent avec l'avancée en âge. Il conviendrait de poursuivre ces travaux pour mieux comprendre comment éviter les accidents aux différents âges de la vie.

Le bilan français de l'insécurité routière des seniors est produit annuellement à partir des données de BAAC⁴. Les données présentées par Sylviane Lafont en 2013 confirment que : les conducteurs âgés ont une accidentalité plus importante au kilomètre parcouru, ils sont moins souvent impliqués dans un accident que les conducteurs plus jeunes, deux tiers de leurs accidents de la route surviennent en automobile et le risque de décès après un accident croit très rapidement au-delà de 65 ans (Lafont, 2013). Les seniors sont ainsi impliqués dans peu de collisions mais ils payent un lourd tribut au bilan de l'insécurité routière.

Les études présentant la typologie des accidents des conducteurs âgés font consensus : la plupart impliquent un autre véhicule, surviennent en intersection et, pour les conducteurs de plus de 80 ans, les collisions latérales sont deux fois plus fréquentes que pour les conducteurs plus jeunes (OCDE, 2001). Une étude récente, précise que les conducteurs âgés présentant de hauts niveaux de comorbidité (mesurés avec la CIRS - Cumulative Illness Rating Scale) sont moins impliqués dans les accidents. Avec l'avancée en âge, les conducteurs fragiles semblent autoréguler leurs comportements (Papa et al., 2014). Il convient cependant de mieux décrire comment ces régulations opèrent afin d'identifier si, en population, elles pourraient être facilitées afin d'éviter l'accident.

Enfin, l'ultime régulation en matière de conduire automobile consiste à arrêter la conduite. Différents facteurs influencent cette décision d'arrêt comme : le genre, le niveau d'éducation, le mode de vie (et en particulier l'offre de transport), les pathologies du système nerveux central, la vision et le niveau cognitif ; une large recension des écrits sur ce sujet a été effectuée dans la thèse de Laëticia Marie-Dit-Asse (2015). Ce travail de thèse a montré que dans le cadre du suivi de patients déments, les femmes arrêtent spontanément de conduire au stade pré-déméntiel alors que pour les hommes, tout le

⁴ Bulletin d'Analyse des Accidents Corporels de la circulation

processus de régulation (restriction des distances parcourues, évitement de situations de conduite difficiles puis arrêt) est impacté au stade de démence. Par ailleurs, il a aussi été démontré que la santé auto-rapportée et l'auto-évaluation de ses capacités cognitives étaient plus importantes que les conditions médicales pour prédire l'arrêt de la conduite (Anstey et al., 2005). Compte tenu de ce dernier résultat, comme plusieurs pays imposent un contrôle médical au-delà d'un certain âge, il est très probable que certains conducteurs décident spontanément de ne pas se présenter aux contrôles médicaux imposés et restreignent ainsi à tort leur mobilité. Ce phénomène a d'ailleurs été constaté par la Société d'Assurance Automobile du Québec (SAAQ). Il semble donc important de prévoir des procédures d'accompagnement des conducteurs afin de les aider à prendre des décisions concernant l'usage de la voiture qui soient en adéquation avec leurs capacités fonctionnelles.

Depuis le fort déploiement de l'automobile, la question d'un contrôle de l'aptitude médicale à la conduite a été très largement débattue. **Nous avons recensé les travaux menés sur cette question d'aptitude médicale à la conduite pour les seniors dans un chapitre d'ouvrage co-écrits par plusieurs chercheurs du Lescot** (Rogé et al., 2009) ; en synthèse, plusieurs époques se sont succédées. Une première époque s'est focalisée sur la détection de troubles visuels et médicaux en prônant un contrôle rendu obligatoire dans la majorité des cas dès 65 ans alors que les liens entre une altération de la santé et/ou de la vision et le nombre d'accident et/ou une dégradation des performances de conduite étaient soit inexistantes soit très faibles (Burg, 1968 ; Henderson & Burg, 1974 ; Council & Hallen, 1974 ; Johnson et Keltner, 1983 ; à l'exception de certains tests visuo-attentionnels plus en lien avec les performances de conduite, voir Rogé et al., 2009 pour revue). Il a même été démontré que ces mesures étaient contre productives. En effet, en retirant le permis de conduire au-delà d'un certain âge, le risque d'être tué en tant que piéton est beaucoup plus élevé pour les seniors (Hakamies-Blomqvist, 1996). Vers les années 2000, est apparue la seconde période appelée la révolution cognitive (Miller, 2003). A ce moment-là, nous sommes passés d'une approche purement médicale à une approche pluridisciplinaire intégrant les pratiques en neuropsychologie. Les recherches se sont alors attelées à tester la sensibilité de différentes batteries selon les différentes pathologies cognitives qui surviennent avec le vieillissement et qui permettraient d'identifier les individus en sur-risque d'accident. Une vaste réflexion s'est ensuite engagée sur l'évaluation de la performance de conduite.

Durant cette seconde période, le panel d'experts qui s'est tenu au TRB en 2007, a été déterminant car un consensus a enfin émergé. Depuis cette date, la communauté internationale est unanime sur l'inefficacité d'un contrôle médical obligatoire pour tous les conducteurs à partir d'un certain âge. Néanmoins, les experts mentionnent qu'il est nécessaire de réfléchir à mettre en place une procédure de suivi pour la fraction de conducteurs âgés pour lesquels des problèmes de conduite sont suspectés (Langford et al., 2008). En effet, les altérations de la santé repérées par les médecins doivent servir de drapeau rouge pour aider les professionnels de santé et l'administration à identifier les conducteurs qui ont besoin d'un suivi particulier (Marshall, 2008 ; Dobbs, 2001). De très nombreuses recherches ont tenté de démontrer une association significative entre le risque d'accident et les performances à différents tests cognitifs (Ball et al., 1993 ; Lafont et al., 2010a ; Staplin et al., 2003, Stutts et al., 1998). L'association entre la performance aux tests cognitifs et le risque d'accident demeure assez faible et la valeur clinique de ces tests n'est pas satisfaisante (Bédard et al., 2008), il est nécessaire d'aller vers des mesures plus sensibles des capacités de conduite pour identifier les individus qui présentent des troubles impactant leur conduite. Ainsi, au cours de la dernière décennie, les recherches que j'ai menées s'attellent à **proposer différents outils et protocoles valides et fiables destinés à évaluer la performance en conduite automobile**. Cette étape est un préalable à la mise en place de procédures de suivi plus complexes.

1.4 Vers une nécessaire articulation entre les politiques des transports et de sécurité routière avec la politique de santé publique

Cette introduction sur la problématique de la mobilité des personnes âgées recense les principales connaissances en matière de santé publique, de mobilité et de sécurité routière. Elle vise à sensibiliser le lecteur sur la nécessité de développer une vision holistique afin de pouvoir aborder cette problématique. La création récente du département Transport Santé Sécurité au sein de l'Ifsttar m'est apparu comme une opportunité et j'ai souhaité, dans ce mémoire d'HDR, ouvrir volontairement le regard vers la complémentarité des approches pluridisciplinaires et pluri-professionnelles afin d'insuffler une nouvelle dynamique à mon projet de recherche. J'espère ainsi apporter une contribution qui pourrait permettre d'orienter la politique de sécurité routière en faveur des seniors en fonction des enjeux majeurs qui les concernent en matière de santé publique.

Dans ce mémoire, je m'efforcerai de sensibiliser le lecteur aux apports de la psycho-ergonomie pour mieux comprendre comment les conducteurs âgés régulent spontanément leur conduite et présenter les leviers sur lesquels il est possible d'agir pour qu'ils puissent continuer à conduire le plus longtemps possible de manière sécuritaire. Enfin, lorsque la conduite n'est plus envisageable, une réflexion sera menée pour proposer des solutions de mobilités alternatives. Ces travaux ont été menés en privilégiant une approche centrée sur l'étude des comportements afin de pouvoir proposer des solutions en matière de prévention, d'actions éducatives et de développement d'assistance à la conduite.

1.5 Le soutien à la mobilité des personnes âgées passe par la promotion de l'aptitude à la conduite

Pour des raisons sensorielles, motrices et cognitives, se déplacer devient de plus en plus difficile avec l'âge. Pour les personnes âgées, la possibilité de maintenir ou rétablir la mobilité dans des conditions de confort et de sécurité satisfaisantes constitue un enjeu déterminant pour assurer le lien social et satisfaire les besoins élémentaires permettant une vie autonome. Pour y parvenir, il est indispensable de prendre en compte les besoins et les spécificités des personnes âgées dans la conception des infrastructures, des équipements et des services. Ce problème n'est pas simple dans un environnement physique et informationnel qui se complexifie. Cependant l'explosion des nouvelles technologies dans tous les domaines peut être une chance si ces dernières sont judicieusement adaptées et jouent un véritable rôle palliatif au regard des déclinés liés à l'âge.

Pour les différentes générations de personnes âgées issues des trente glorieuses, le recours à la voiture particulière a été de plus en plus répandu. Ces générations ont connu la motorisation de masse et l'usage de la voiture par les femmes s'est intensifié (Pochet et Corget, 2010). Ainsi, la voiture particulière est devenue le moyen de transport le plus utilisé lors des déplacements dans l'espace de vie quotidien. Il correspond aux attentes des seniors : il s'agit d'un service de proximité de porte à porte souple et adapté à leurs besoins. En vieillissant, il est progressivement nécessaire de réduire son aire de mobilité et de commencer à changer ses habitudes de déplacement ; l'usager vieillissant s'adapte petit à petit à ce nouvel impératif. Hors, les caractéristiques des lieux de vie produisent des conditions d'accessibilité aux services différenciées. En milieu rural et en zones péri-urbaines, l'offre de transport public ne permet pas toujours aux citoyens de se déplacer de manière autonome. L'usage de la voiture sur de petits trajets réguliers peut permettre de préserver leur autonomie. Pouvoir conduire une automobile apparaît comme le support principal de la mobilité des personnes âgées résidant dans des espaces peu denses.

Par ailleurs, le secteur de la mobilité connaît aujourd'hui une mutation soudaine sans précédent et l'adaptation lente opérée par les usagers âgés ne pourra très certainement pas leur permettre de profiter des nouvelles possibilités de mobilité si nous ne prévoyons pas de les accompagner. Avec l'avènement de la téléphonie mobile, la société vit un nouveau paradigme : nous souhaitons tous vivre mobile. Un besoin psycho-social d'information est né et les relations interpersonnelles du type « relié-connecté » se développent. Ceci va impacter nos modes de vie et nous passons d'une problématique de transport à celle de mobilité. Les implications de cet axiome sont nombreuses en matière de transport, de santé et de participation sociale : les valeurs vitesse et transit qui prédominent dans une problématique de transport vont être remplacées par la valeur reliance (Clausse, 1963 ; néologisme dont le contraire est déliance) qui sera très certainement source de sérendipité⁵. Comme le souligne Amar (2010), la mobilité s'impose comme une nouvelle condition humaine et il convient de la maîtriser.

La voiture est un équipement, un service de mobilité personnel essentiel aux personnes âgées et elle est aussi appelée à évoluer énormément dans les années à venir. L'avènement du véhicule autonome est encore un nouveau changement de paradigme. Les approches en psycho-ergonomie vont permettre de mieux défendre l'utilisabilité de ce nouvel objet technique qui permettra d'éviter ou compenser les erreurs opérées par les conducteurs âgés.

⁵ Découverte fortuite

2. Objet de la recherche

Cette section vise à préciser comment mon objet de recherche s'est construit au fil des années. Le processus de recherche que j'ai adopté dans une première période de ma carrière s'est construit par des allers-retours constants entre le terrain et les théories cognitives. Mon projet de recherche s'est précisé au gré de constructions itératives orientées vers des objectifs qui me semblaient à chaque étape être les plus clairs possibles. Ma démarche scientifique reposait essentiellement sur l'observation et l'approche expérimentale. L'ergonomie étant traversée par les deux cadres épistémologiques des sciences de la vie et des sciences humaines, j'en tenté de sortir des querelles disciplinaires et de profiter de l'hétérogénéité de ces approches pour, dans un premier temps, expliquer et comprendre les phénomènes avec l'envie sous-jacente de pouvoir à terme mieux agir. La démarche scientifique adoptée dans cette première période reposait sur des investigations principalement fondées sur les approches inductive et hypothético-déductive.

Une vue synoptique générale de la construction d'un processus de recherche

Les grandes étapes	Leur contenu	Dans l'approche hypothético-déductive
Concevoir	<i>Objet ou Problématique et question(s) de recherche</i>	1 Choix de l'objet
		2 Revue de littérature
Mettre en oeuvre	- Construire le canevas ou architecture (<i>design</i>) de la recherche) ⁶	3 Construire un cadre théorique
		4 Dédire des hypothèses
		5 Opérationnaliser les concepts
Analyser Evaluer	- Lier concepts et données - Collecter les données, - Choisir l'échantillon - Coder et traiter les données	6 Construire un plan de recherche
		7 Choisir un échantillon, collecter des données et les coder
		8 Tester les hypothèses
		9 Analyser les données et interpréter les résultats, apprécier leur validité, conséquences théoriques et pratiques des résultats obtenus

Figure 5 : Démarches inductive et hypothético-déductive (d'après Giordano et al., 2012)

Rapidement, j'ai compris que le comportement humain ne peut être étudié exhaustivement par l'expérimentation. La conduite (en général en non uniquement la conduite automobile) contient : une partie objectivable : le comportement et une partie non objectivable : le motif, le mobile, l(es) acte(s) de pensée qui accompagnent, précèdent ou suivent un comportement. Comme le souligne Dejours (2014), dans nos approches, nous tentons d'élucider les processus cognitifs, affectifs et conatifs pour saisir les chainons intermédiaires des processus en cause ; nous fondons nos investigations sur des processus intra et intersubjectifs. Cette démarche nous permet d'objectiver les causes d'un comportement mais elle doit être accompagnée par une démarche d'observation pour mieux les comprendre. En effet, par l'observation, on objective les raisons d'agir en construisant a posteriori une argumentation à partir des comportements observés et des déclarations faites par les individus. Les

deux approches sont complémentaires, elles permettent d'expliquer et de comprendre afin, au final, de pouvoir mieux agir.

Au gré de mes travaux, je suis passée d'interprétations faites dans une approche non située, ou j'ai observé la réalisation de tâches prescrites, c'est à dire ce que le participant devait faire, à d'autres approches dites situées pour lesquelles, par l'analyse de l'activité, j'ai pu observer ce qui est réellement fait par les participants. La rédaction de ce mémoire d'HDR m'a permis d'être consciente du danger de rester enfermée dans l'étude d'organisation prescrite. Au regard des évolutions technologiques que l'on connaît dans les domaines de l'automobile et du numérique, afin de pouvoir faire progresser les études en psycho-ergonomie, il faut faire en sorte d'étudier la coopération sans retour nécessaire vers l'analyse de l'activité.

2.1 Présentation de la problématique centrale

Les travaux de recherche que je mène au Lescot, depuis plus de 10 ans, visent à **comprendre les régulations qui opèrent en conduite automobile dans le cadre du vieillissement dit normal**, c'est à dire sans atteinte cognitive. La plupart des conducteurs âgés développent des stratégies adaptatives dans le but de bâtir une réponse adaptée aux situations de conduite rencontrées. Lorsque ces stratégies sont efficaces, les conducteurs présentent de bonnes capacités d'adaptation qui leurs permettent de maintenir un niveau de compétence suffisant en conduite automobile. Ils demeurent performants en développant de nouvelles habiletés qui leurs permettent de rester aptes à conduire. En effet, l'adaptation a une finalité fonctionnelle. Il s'agit d'une transformation pour aller vers une meilleure adéquation au milieu. Les deux racines latines de ce terme signifient : *Ad* - ajuster en vue de et *Aptus* – être apte. Ces deux notions d'aptitude et d'adaptation sont donc intimement liées alors que, dans le domaine médical, on définit l'aptitude comme « une disposition naturelle ou acquise à faire quelque chose » (Zanlonghi, 2013) et elle est encore très souvent évaluée dans des contextes qui ne permettent pas aux patients de pouvoir adapter leurs comportements. En raison de la complexité des mécanismes de régulation qui opèrent en conduite automobile, il n'est pas envisageable de pouvoir statuer sur l'aptitude ou l'inaptitude à la conduite sur la base de tests médicaux évaluant uniquement les capacités visuelles et motrices des conducteurs (Gabaude, 2013b) et une évaluation complémentaire de la cognition améliorerait la situation mais ne serait pas suffisante pour pouvoir statuer sur l'aptitude à la conduite.

Cette problématique de recherche m'a amenée à **conduire une réflexion sur les notions d'aptitude** (définie dans le paragraphe précédent), **de capacité, d'habileté, de compétence et de performance**. En effet, l'approche par les capacités permet de mieux comprendre les contraintes qui pèsent sur les individus et d'identifier les opportunités dont ils disposent pour agir. L'habileté est une ressource développée à la suite d'un apprentissage dans une tâche précise ou une classe restreinte de tâches (Famose & Durand, 1988). On voit donc apparaître avec cette notion la prise en compte de l'expérience et l'expertise dans l'activité. La compétence est la mise en œuvre par une personne en situation, dans un contexte déterminé, d'un ensemble diversifié mais coordonné de ressources (Jonnaert et al., 2004). On voit ici apparaître la notion de mobilisation des ressources dont dispose l'individu. L'habileté n'étant pas la seule ressource à disposition ; pour rester compétent, le conducteur peut aussi mobiliser ses ressources internes comme par exemple ses ressources attentionnelles mais aussi ses ressources externes, par exemple, demander de l'aide à une tierce personne ou déléguer une partie de son activité à un système d'assistance à la conduite (comme la boîte automatique). La compétence du conducteur va donc dépendre de ses choix, de la mobilisation et de l'organisation de ses ressources pour mener à bien des actions pertinentes au regard de la situation en cours. Comme le soulignent

Jonnaert et al. (2004), c'est donc l'articulation et la combinaison de ces différentes ressources qui va donner lieu, ou non, à un agir compétent et non uniquement les ressources en elles-mêmes. Avoir des ressources est donc une condition nécessaire, mais non suffisante pour que l'individu soit reconnu compétent. La compétence va donc être observée en étudiant la performance de manière située ou contextualisée. Cette performance est singulière et personnelle. Dans le travail développé dans cette HDR, deux cadres d'analyse sont mobilisés, la cognition désincarnée, qui donne une vision partielle d'un phénomène mais permet de mieux en comprendre les mécanismes et la cognition incarnée, qui permet d'aller vers une approche plus globale.

Lorsque l'analyse de l'activité finalisée est abordée dans cette HDR, **le cadre d'analyse utilisé est celui de l'énaction** (Varela et al., 1993) ou aussi nommé par d'autres auteurs de l'action située ou de la cognition incarnée. Par cette approche, la priorité est donnée à l'action de l'individu et à son engagement dans la situation afin d'optimiser la qualité de ses échanges avec l'environnement. Il s'agit par cette approche de ne pas considérer la cognition comme un unique système de traitement de l'information (évoqué comme « arrière-plan représentationnaliste des sciences cognitives orthodoxes » par Penelaud, 2010) mais comme l'émergence globale d'une propriété issue de l'interaction de groupes neuronaux exprimant des propriétés locales simples. En effet, l'individu n'est jamais coupé du monde, il agit en fonction de son environnement : les deux parties co-adviennent simultanément. La cognition est ainsi vue comme une action de faire émerger conjointement le monde et l'esprit, ce que Varela défend via le paradigme de l'énaction⁶ ; la cognition est l'avènement conjoint d'un monde et d'un esprit à partir de l'histoire des diverses actions qu'accomplit un être dans son environnement (Varela et al., 1993). De cette distanciation émerge le soi qui va être le déterminant de l'autorégulation comportementale.

Ainsi, afin de comprendre les comportements de nos aînés, dans certaines approches, il est nécessaire de prendre en compte leurs situations, leurs besoins, leurs environnements physique et social afin de mieux décrire les difficultés rencontrées et les risques encourus. La complémentarité de différents outils et méthodes sera ainsi abordée dans ce mémoire d'HDR. Mon objet de recherche s'est progressivement construit autour de différentes étapes :

- Mettre en évidence les stratégies d'adaptation au vieillissement
- Connaitre les déterminants de l'adoption de stratégies adaptatives par les conducteurs âgés
- Approcher les éléments qui influencent l'autorégulation des conducteurs
- Savoir comment évaluer ces capacités d'adaptation
- Trouver les « outils » adéquats permettant d'évaluer ce potentiel d'adaptation

2.2 Une problématique étayée par une approche pluridisciplinaire

Durant ces dix dernières années, en restant centrée sur la thématique du vieillissement, j'ai toujours souhaité faire progresser mes recherches au gré des avancées des connaissances dans plusieurs communautés scientifiques : la psycho-ergonomie, la psychologie cognitive et les neurosciences. Le principal verrou scientifique à lever pour travailler l'interface entre ces trois disciplines consiste à

⁶ Suciter, faire advenir, faire émerger

tendre des ponts entre la micro⁷ et la macrocognition⁸ et savoir parfois remettre en cause ces théories lorsqu'elles divergent. Il faut aussi composer avec le rapport de subordination épistémologique des sciences appliquées par rapport aux sciences fondamentales. Il convient par exemple d'expliciter certains processus adaptatifs au regard de mécanismes cognitifs défailants. La psycho-ergonomie a aussi beaucoup à apporter aux neurosciences cognitives en faisant valoir ses apports théoriques et méthodologiques. Comme le soulignent Hoc et Darses (2011), les psycho-ergonomes ne doivent pas se laisser réduire à des analystes du comportement, il faut tirer parti de la coexistence de niveaux de granularité différents au sein de ces différentes disciplines (Hoc & Darses, 2011).

Par ailleurs, des collaborations avec des chercheurs en épidémiologie et en traitement du signal m'ont permis de mieux préciser les enjeux de recherche sur des thèmes émergents du fait du vieillissement de la population et de l'évolution des pratiques des conducteurs (usage des systèmes d'assistance et du téléphone au volant). Les apports coordonnés de ces différentes disciplines permettent de donner un éclairage nouveau sur ces thèmes de recherche et de proposer des solutions plus intégrées pour pallier les difficultés identifiées. En effet, la coopération avec des ingénieurs permet l'émergence de développements technologiques innovants permettant de résoudre de nouveaux problèmes posés au sein des systèmes homme-machine.

2.2.1 Apports de la psycho-Ergonomie

La psychologie ergonomique est une discipline à forte dominante cognitive ; elle permet l'apport de connaissances sur le fonctionnement cognitif en situation écologique⁹ ou/et technologique¹⁰, sans négliger pour autant certains aspects sociaux et émotionnels ; c'est un vecteur essentiel de transfert de résultats fondamentaux en psychologie, souvent obtenus dans des situations simplifiées, vers des situations complexes ; c'est la gestion soigneuse de la validité écologique qui permet à cette sous-

⁷ La micro-cognition correspond à l'étude de la cognition en laboratoire. Elle permet l'analyse de processus cognitifs à l'aide d'une approche mécanistique qui est prédominante dans la psychologie cognitive. On recherche, au travers de l'analyse de l'activité du cerveau, la manifestation de mécanismes hypothétiques d'analyse et de traitement de l'information. Cette tendance à étudier le fonctionnement humain à l'aide de nombreuses unités élémentaires a fait émerger un grand nombre de micro-théories pas toujours complémentaires ni consensuelles. De cette difficulté est apparue la nécessité de développer des approches plus macro-cognitives.

⁸ La macrocognition est l'étude de la cognition en milieu naturel. Le terme macro-cognition a été introduit par Cacciabue & Hollnagel (1995) pour distinguer la modélisation des systèmes cognitifs à l'aide d'un approche systémique de l'approche micro-cognitive traditionnelle utilisée en sciences cognitives. A la différence de l'approche micro-cognitive, cette approche permet la prise en compte des contraintes liées à la gestion de la pression temporelle et à la gestion du risque. De même, elle permet l'étude de la performance experte afin de mieux comprendre les régulations opérées durant l'activité plutôt que de tenter d'extraire des comportements ou mécanismes cognitifs invariants à partir d'approches théoriques. Cette approche située est complexe à étudier car les conditions de réalisation de l'activité ne sont pas forcément claires et contrôlables, les buts poursuivis par l'opérateur et les résultats de l'activité peuvent parfois être ambigus. La confrontation des approches micro et macro-cognitives fait par exemple comparer les mini-théories de l'attention formulée sur le postulat d'une capacité de traitement de l'information limitée aux macro-théories des schémas ou attentes. Les tendances contemporaines en psychologie cognitive se situent à des niveaux plus macro, elles cherchent à définir des unités naturelles dans l'expérience humaine en essayant d'atteindre le niveau des fonctions et de l'action humaine, plutôt que de comprendre le niveau des processus d'information élémentaire et leur structure. Pour atteindre cet objectif, des allers-retours incessants entre approches micro et macro-cognitives sont encore nécessaires.

⁹ En faisant référence à des situations réelles de travail ou d'activité de la vie quotidienne.

¹⁰ Renvoyant à des situations d'usage et d'interaction avec des machines.

discipline de la psychologie de développer une recherche fondamentale pertinente à la compréhension des situations complexes et à leur transformation, il s'agit de s'assurer de la relation entre la situation cible de l'analyse, le plus souvent complexe, et la situation objet de l'investigation, souvent simplifiée pour les besoins de contrôle des variables (Hoc & Darses, 2011).

Cette sous-discipline de la psychologie est centrée sur l'étude des activités finalisées, une attention particulière est ainsi accordée à la compréhension de la performance, dans des situations où ses enjeux sont forts. Bon nombre de travaux portent aussi sur l'expertise ou sa formation. La psychologie ergonomique peut donc être qualifiée de psychologie de la performance et de psychologie de l'expertise. Elle retourne très souvent des questions de recherche pertinentes au renouvellement des théories et des méthodes en psychologie, l'enjeu scientifique majeur étant d'effectuer ce rebouclage théorique afin de faire progresser la discipline. Cela permet ensuite d'éclairer au plus près les questions d'application des connaissances.

Quatre verrous scientifiques sont actuellement en débat : le concept d'adaptation est discuté dans la communauté en psycho-ergonomie afin de tisser des liens entre des domaines de recherche trop séparés (portant sur les aspects dynamiques et développementaux du contrôle cognitif, le rôle des émotions dans l'adaptation et l'adaptation au vieillissement cognitif) ; Les contraintes liées à l'analyse de l'action située sont fortes car il n'est pas aisé d'opérationnaliser les concepts invoqués ; la notion d'erreur humaine soulève des difficultés pour la communauté en facteurs humains¹¹ ; enfin, la psycho-ergonomie est en pleine évolution vers la neuro-psycho-ergonomie qui offre des perspectives prometteuses pour étudier les corrélats neuronaux de la charge mentale, de la perception, de l'erreur humaine et de l'interaction homme-machine. Les travaux que je mène contribuent d'une manière ou d'une autre à lever certains verrous afin de faire progresser la discipline.

2.2.2 Apports des neurosciences sur le thème du vieillissement

L'évolution des techniques d'imagerie cérébrale (en particulier les techniques d'imagerie structurelle et fonctionnelle) a contribué à mieux définir les changements qui s'opèrent lors du vieillissement du cerveau humain. Schultheis & Manning (2011) ont recensé les connaissances obtenues sur le fonctionnement du cerveau de conducteurs âgés à l'aide d'approches transversales et longitudinales. Ils ont identifié quatre changements majeurs qui peuvent influencer le comportement des conducteurs :

1. L'atrophie cérébrale de la matière blanche et de la matière grise peut avoir des conséquences lors de la réalisation de tâches requérant de hauts niveaux d'attention et un bon fonctionnement exécutif
2. L'atrophie plus particulièrement située au niveau du lobe frontal peut entraîner des changements du contrôle inhibiteur (détectables à l'aide de tests des fonctions exécutives explorant la résolution de problèmes et la prise de décision) et de la mémoire de travail
3. Une perte neuronale et des changements dans les fonctions cérébrales qui sous-tendent la stabilité de l'intelligence cristallisée (connaissances sur-apprises) et le déclin de l'intelligence fluide (requérant la vitesse perceptuelle, l'attention sélective et la résolution de problèmes).
4. L'existence d'un compromis neurologique (résultant de la plasticité cognitive) qui devrait pouvoir, à l'avenir, être mieux étudié grâce aux avancées de l'imagerie fonctionnelle.

¹¹ <http://humanisticsystems.com/2015/03/29/is-human-error-the-handicap-of-human-factors-a-discussion-among-human-factors-specialists/>

2.2.3 Apports des neurosciences sur le thème de l'attention

Les données de la psychologie cognitive convergent avec celle des neurosciences pour préciser les mécanismes neuronaux de l'attention. Définir l'attention n'est pas simple : l'attention réfère à un état dans lequel le niveau d'activation optimal permet la sélection d'informations à prioriser afin de contrôler le cours de l'action ; dans la plupart des modèles théoriques, l'attention réfère à trois différentes fonctions qui touchent à l'activation, à la sélection et au contrôle qui peuvent être déclinées en différentes opérations (Rueda et al., 2015). La plupart des activités quotidiennes sollicitent ces trois fonctions parmi lesquelles on retrouve deux modes de sélection ou d'orientation de l'attention qui sont liés au niveau d'alerte de l'individu et qui peuvent changer en fonction de facteurs endogènes (variation du niveau de motivation à réaliser un tâche) ou exogènes (le son d'un alarme).

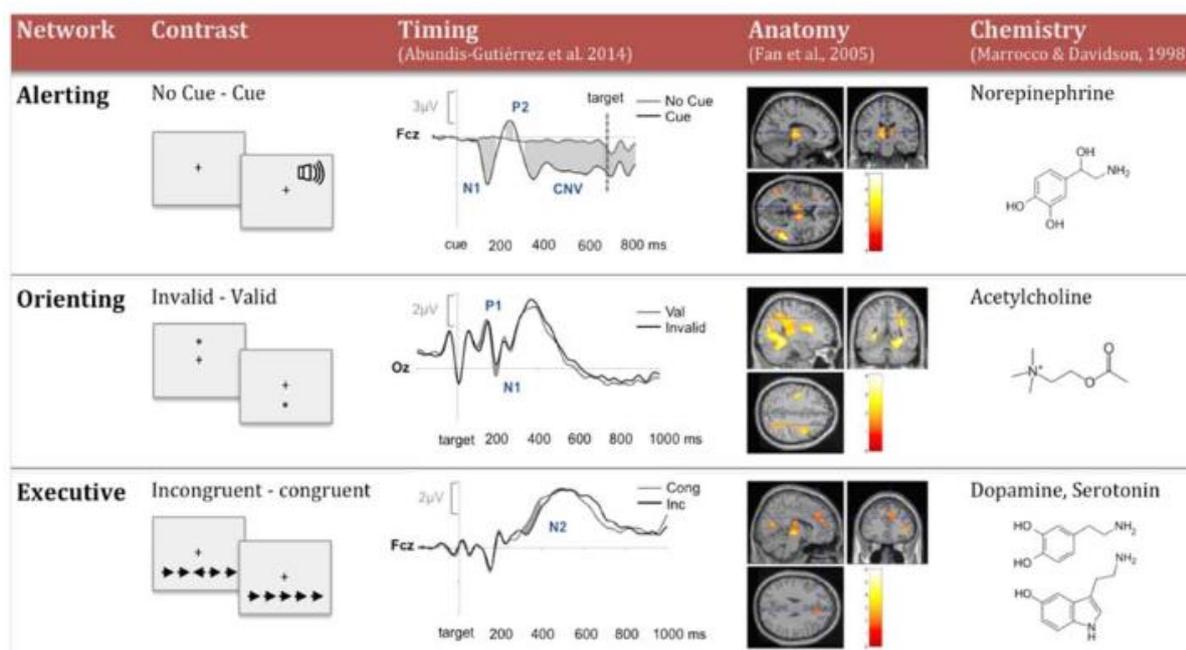


Figure 6 : Complémentarité de trois méthodes permettant d'étudier les mécanismes neuronaux de l'attention (d'après Rueda et al., 2015)¹²

2.3 Inflexions autour de cette problématique

Au niveau théorique, cinq modèles complémentaires ont successivement guidé mon avancée dans mon parcours scientifique. Dans les paragraphes suivant, je vais exposer ce qu'ils m'ont apportés à chaque étape et comment leurs apports mutuels ont nourri mon projet de recherche.

2.3.1 Le modèle SOC de Baltes

Mes premiers travaux d'observation ont consisté à discuter la performance de conduite des conducteurs âgés en référant aux théories du développement humain au cours de la vie. Le modèle de l'optimisation sélective avec compensation (« SOC Model », Baltes, 2005 ; Freund, 2008) m'a permis à

¹² cette figure présente les résultats obtenus avec différentes méthodes (de gauche à droite : potentiels évoqués, IRMf et manipulations pharmacologiques) en utilisant des contrastes expérimentaux fréquemment utilisés pour manipuler l'engagement de chacun des trois réseaux attentionnels. La présence d'indices en contraste avec leur absence produit une réponse d'alerte phasique et conduit (dans les demi-secondes après la présentation de l'amorce) à une forte et rapide réponse neuronale impliquant un certain nombre de régions du cerveau, cette réponse pouvant être modulée en modifiant les niveaux de noradrénaline.

partir d'études transversales de commencer à discuter les processus de régulation et de commencer à mettre en lien des mesures des fonctions perceptives et cognitives avec les performances de conduite. Il s'agit d'un modèle de la psychologie de l'action orientée vers un but. Ce modèle stipule qu'à toutes les étapes de la vie, le développement réussi repose sur la sélection, l'optimisation et la compensation. La sélection va dépendre des choix et buts poursuivis par l'individu, elle peut être élective (basée sur le choix) ou négative (basée sur la perte). L'optimisation va permettre de maximiser la fonction ou les capacités vers le but visé. La compensation va permettre de recruter des ressources supplémentaires pour atteindre son but.

SÉLECTION : buts / préférences	
Sélection élective	Sélection négative
<ul style="list-style-type: none"> • Spécifier les buts • Hiérarchiser les buts • Contextualiser les buts • S'engager par rapport aux buts 	<ul style="list-style-type: none"> • Se limiter aux buts plus importants • Reconstruire la hiérarchie des buts • S'adapter aux standards • Rechercher de nouveaux buts
OPTIMISATION : moyens relatifs aux buts	
<ul style="list-style-type: none"> • Acquérir de nouvelles ressources ou habiletés • Saisir la bonne occasion • Persister • Pratiquer ses habiletés • Travailler avec effort • Allouer du temps (pour une tâche importante) • Imiter ceux qui réussissent 	COMPENSATION : façons de contrecarrer pertes/blocages
	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer un moyen par un autre • Recourir à des aides externes (fauteuil roulant) • Obtenir une aide thérapeutique • Acquérir de nouvelles habiletés/ressources • Augmenter l'effort • Augmenter le temps alloué • Imiter ceux qui compensent bien (en joignant un groupe d'entraide, par exemple)

Figure 7 : Exemples de mécanismes de sélection, optimisation et compensation (tirés de Freund & Baltes, 2002)

En conduite automobile, j'ai pu mettre en évidence que ces trois processus de sélection, d'optimisation et de compensation sont mis en œuvre par les conducteurs âgés. A l'aide de données déclarées, nous avons mis en évidence le processus de sélection en explorant les données d'exposition à la conduite (distances parcourues, fréquence d'utilisation du véhicule) et les habitudes de conduite (évitement de situations de conduite difficiles, auto-évaluation des capacités perceptives et cognitives) ; le processus d'optimisation a été exploré en observant les associations entre les performances visuelles et cognitives et les performances de conduite (Gabaude et al., 2010), la compensation a été abordée à l'aide des travaux portant sur la gestion de la charge cognitive (Gabaude et al., 2012) et la participation à différents programmes d'entraînement (Hay, 2016).

2.3.2 Les mécanismes d'adaptation au vieillissement d'après Marquié et Isingrini

Afin d'améliorer notre compréhension des mécanismes d'optimisation sélective avec compensation, je me suis ensuite référée aux travaux de Marquié (1993 ; Figure 8) et ceux de Marquié et Isingrini (2001) car ils permettaient de mettre en lumière les effets optimisateurs de l'expérience tout en précisant un plus large éventail de mécanismes mis en jeu dans les régulations opérées par les individus. Cinq mécanismes sont présentés. La *compilation* est décrite comme l'automatisation par la pratique de segments entiers de l'activité. La *compensation* permet, malgré une moindre efficacité de certaines capacités cognitives de base requises par la tâche, de maintenir le niveau de performance global par la mise en jeu des compétences expertes plus développées (une perte dans une partie de la compétence est compensée par un gain dans une autre partie). La *remédiation* est définie comme une intervention délibérément conçue pour restaurer des potentialités disparues ou amoindries ou prévenir leur déclin ; elle s'adresse aux composantes cristallisées du fonctionnement cognitif (par apport de connaissances, de stratégies, de méthodes). La *préservation* est un mécanisme le plus hypothétique, elle consiste à maintenir efficient certains processus fondamentaux du fait de leur mise en jeu régulière pendant une période prolongée. L'*accommodation* correspond à des adaptations comportementales qui reposent sur une certaine forme de connaissances métacognitives à la fois des

déficits et des moyens disponibles pour maintenir l'activité à un niveau satisfaisant. Il s'agit d'un renoncement à satisfaire certains critères de l'activité pour préserver d'autres aspects jugés plus importants.

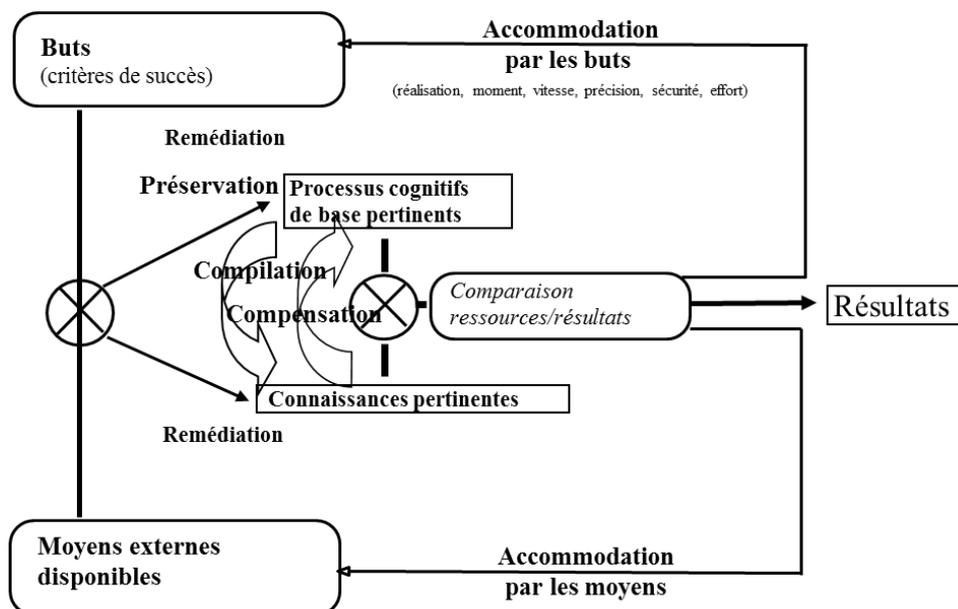


Figure 8 : Mécanismes d'adaptation au vieillissement cognitif – effets optimisateurs de l'expérience (d'après Marquié, 1993)

Pour une bonne adaptation à de nouvelles conditions de fonctionnement, en fonction des résultats obtenus, il est parfois nécessaire de mobiliser les ressources dont l'individu peut disposer. Ces ressources peuvent être fonctionnelles, techniques ou organisationnelles. Je me suis servie de ce modèle cadre en psycho-ergonomie pour mettre en évidence certaines adaptations mises en œuvre par les conducteurs âgés en particulier pour comprendre comment le conducteur gère sa charge cognitive.

2.3.3 Le modèle du contrôle cognitif d'après Hoc et Amalberti

Malgré son apparente facilité, 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. Les situations que rencontrent le conducteur ne sont pas toujours prévisibles et peuvent évoluer plus ou moins rapidement, il doit ainsi prélever des informations dans l'environnement afin d'anticiper et de réagir face aux événements. Heureusement, l'activité de conduite est routinière et de nombreux pans d'activité sont automatisés, ce qui libère des ressources cognitives au profit d'actions contrôlées. Ainsi, le conducteur doit trouver un équilibre entre concentration et ennui afin de gérer ses propres ressources cognitives et mener à bien son activité. La charge cognitive en conduite peut être discutée à l'aide de différentes notions (le niveau de ressources, la sélectivité, le mode d'orientation). Comme le conducteur adapte constamment ses actions en fonction des ressources dont il dispose, la notion d'adaptation discutée dans le modèle de Marquié et Isingrini (2001) est trop statique pour discuter pleinement les formes d'adaptation. Il était nécessaire de se référer à un cadre théorique complémentaire. La notion de contrôle cognitif m'est alors apparue beaucoup plus opérationnelle. Pour ces raisons, j'ai ensuite pris en compte dans mon approche le modèle du contrôle cognitif développé par Hoc et Amalberti (2007).

En effet, l'activité de conduite est réalisée en situation dynamique, c'est-à-dire dans un environnement qui est en constante évolution et sous pression temporelle forte. Elle requiert donc un contrôle

cognitif¹³ permanent de la part du conducteur. Ce dernier va guider les choix d'actions du conducteur en fonction de ses buts et des événements externes auxquels il est confronté (percevoir l'information, l'intégrer, prendre une décision et la mettre en œuvre). Dans mon approche, le contrôle cognitif englobe le contrôle attentionnel, la régulation émotionnelle et l'inhibition comportementale (Dubois, 1996). L'activité de conduite est aussi une activité experte : par la pratique continue, le conducteur dégage des marges de manœuvres pour réguler au mieux son activité ; à partir des erreurs commises il peut aussi tirer certains enseignements. Par ailleurs, l'activité de conduite est une activité de coopération, on ne conduit pas seul mais avec les autres. Le contrôle cognitif va aussi s'adapter aux régulations opérées entre conducteurs. Pour mieux comprendre ces régulations, l'approche de l'action située est essentielle.

Le contrôle cognitif permet au conducteur d'allouer une quantité de ressource acceptable afin de maîtriser la situation à laquelle il doit faire face. Les aspects dynamiques et développementaux du contrôle cognitif ont été modélisés par Jean-Michel Hoc et ses collaborateurs (Figure 9). Dans l'approche synchronique du contrôle cognitif (Hoc et Amalberti, 2007), trois dimensions principales interagissent et influencent la performance et la distribution des ressources cognitives : le niveau d'abstraction des informations (symbolique ou subsymbolique ; certaines actions pouvant être guidées par des affordances , par exemple l'utilisation ou non de la signalisation lors de l'adaptation de la vitesse en courbe) ; l'origine des données (interne/anticipative ou externe/réactive) ; le mode de prise et de traitement des informations (supervision/urgence). Lorsque le contrôle cognitif opère, à chaque instant, la répartition du contrôle est adaptée pour réaliser convenablement l'activité, l'individu adopte un certain compromis cognitif. Cette répartition est déterminée par : une performance acceptable et non optimale et la quantité de ressources internes et externes investie. Cette répartition est satisfaisante pour l'individu s'il a le sentiment de maîtriser la situation (la performance et les ressources sont alors acceptables). Lorsqu'il conduit, l'individu peut à chaque instant modifier le compromis cognitif adopté en donnant un rôle plus important au contrôle (contrôle direct ou supervision) s'il a auparavant libéré les ressources disponibles pour réduire certaines erreurs (par exemple faire en sorte de ne plus être distrait). Voici différents exemples qui permettent d'illustrer les différents compromis cognitifs adoptés par le conducteur : il peut donner un rôle plus important au contrôle subsymbolique pour avoir une trajectoire lissée, donner un rôle plus important au contrôle externe (réactif) si l'anticipation est mauvaise, donner un rôle plus important au contrôle interne (anticipatif) si l'accès à l'information externe est fastidieux (ex. : dégradation de la visibilité). Une autre forme d'adaptation consiste ainsi à renégocier la performance acceptable : on peut par exemple décider volontairement d'enfreindre le code de la route pour arriver à l'heure à un rendez-vous. Le conducteur peut aussi investir davantage de ressources internes, en arrêtant par exemple de parler avec les passagers pour investir le maximum de ressources symboliques sur la conduite.

¹³ capacité à réagir à des stimuli en fonction du contexte présent, d'indices passés et des buts internes

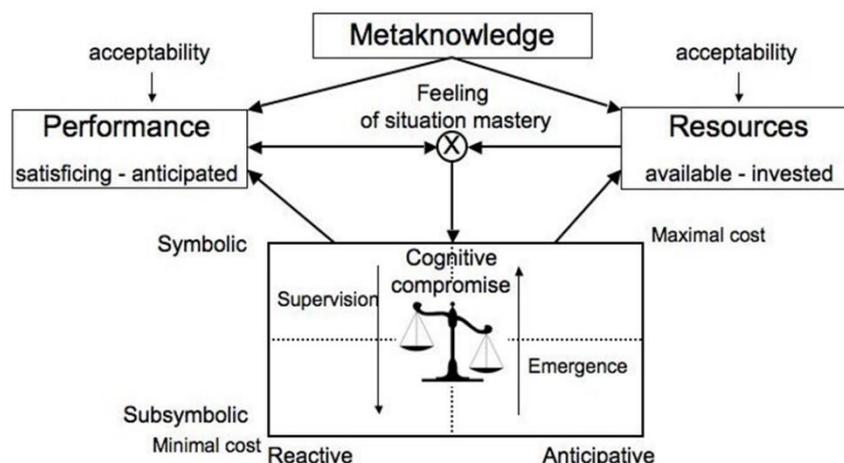


Figure 9 : Face cognitive du modèle du contrôle dynamique de la situation (d'après Hoc et al., 2009)

Dans une approche plus développementale (approche diachronique), Hoc et al. (2009) ont étudié les facteurs qui influencent la dégradation du sentiment de maîtrise de la situation. Par son influence sur la performance et la gestion des ressources, le facteur principal est la métaconnaissance. Elle permet l'estimation des coûts cognitifs, la réalisation d'arbitrage entre les différentes priorités à définir et la distribution du contrôle cognitif. C'est par son truchement que l'expertise en conduite automobile va pouvoir s'exprimer. L'apprentissage de la tâche va permettre la mise en œuvre de routines qui vont permettre de mieux répondre aux contraintes temporelles en permettant d'augmenter le nombre de tâche effectuées en parallèle. Les auteurs parlent d'internalisation des indices externes. La mise en œuvre de ces routines va dépendre de la disponibilité de représentations internes de la situation. Ces routines peuvent aussi être appuyées par une délégation au contrôle subsymbolique. Les métaconnaissances sont essentielles pour que l'individu opère les régulations nécessaires pour gérer les erreurs que nous sommes appelés à réaliser lors de la réalisation d'une tâche. On peut parfois se rendre compte que la performance anticipée ou immédiate est moins bonne que la performance acceptable. Cette situation n'est pas exempte d'émotion : on peut par exemple se faire peur en voiture avec des interdistances trop courtes.

Concernant l'étude du contrôle cognitif au regard de la dimension « mode et prise d'information en vision », il m'est ensuite apparu intéressant de faire discuter l'approche macrocognitive de Hoc et Amalberti (2007) à l'approche micro-cognitive développée par Michael et al. (2007) afin de mieux comprendre comment le mode d'exploration visuelle pouvait changer (supervision ou émergence versus descendant ou ascendant) lors de la réalisation d'une activité dynamique complexe.

2.3.4 La capture attentionnelle en vision d'après Michael

Dans les travaux des étudiants que j'ai pu encadrer sous la supervision de George Michael, nous avons utilisé le modèle cognitif hybride de l'attention développé avec soin par George et son équipe (Michael et al., 2007). Le modèle « Master Activation Map » ou MAM, s'intéresse à la capture attentionnelle en vision et plus particulièrement aux traitements ascendants, aux biais descendants, et aux relations inter-cartes, sa structure est présentée dans la Figure 10). Contrairement au modèle présenté précédemment, il s'agit ici d'un modèle de fonctionnement et non de comportement, dans ce modèle la performance n'a pas sa place.

Les entrées visuelles sont initialement traitées dans deux voies distinctes, une voie spécialisée dans le traitement des dimensions spatiales l'autre voie étant spécialisée dans l'analyse des dimensions non-spatiales. Les processus exogènes sont contrôlés par les entrées sensorielles et opèrent dans un mode

plutôt automatique et involontaire, alors que les processus endogènes, volontairement guidés par les attentes et les objectifs de l'observateur, déterminent conjointement les priorités de traitement. Ce modèle sépare le traitement de la saillance et de la pertinence, cette distinction est intéressante pour étudier les processus attentionnels sollicités en conduite automobile en référant à des théories microcognitives et permettre des allers-retours avec certaines autres théories macrocognitives.

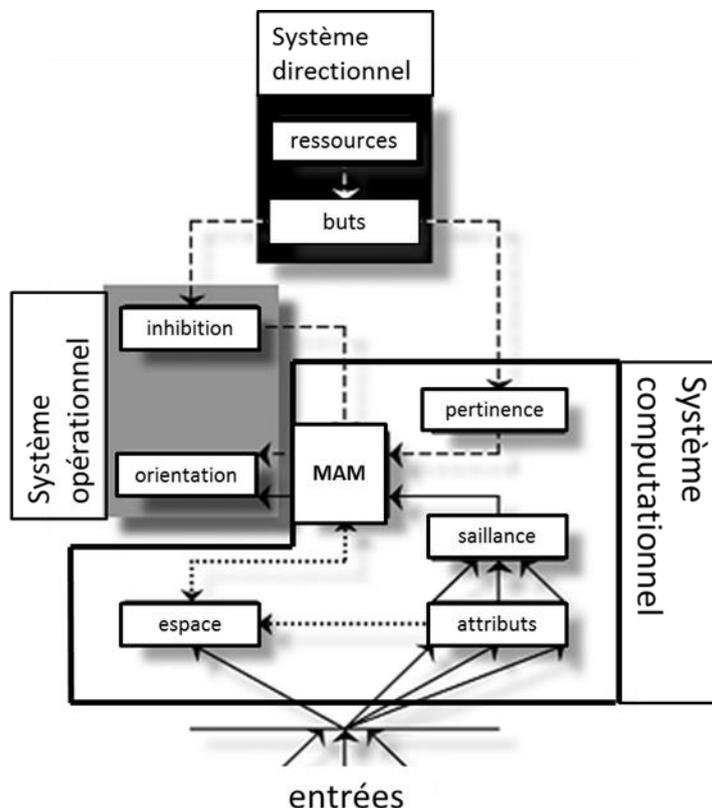


Figure 10 : Représentation schématique du modèle MAM (d'après Michael et al., 2013)

Il comprend trois systèmes interactifs. Le premier est le système computationnel composé de différentes cartes cognitives (cf. Figure 10). Ces cartes sont spécialisées dans le traitement des dimensions distinctes liées à l'aspect des stimuli (couleur, forme etc.) ou leurs dimensions spatiales. Les différences sont calculées pour chaque dimension au sein de la carte de saillance. Il existe également une carte de pertinence s'activant lorsque l'observateur recherche une cible sur la base de connaissances antérieures. Les signaux issus des cartes de saillance et de pertinence sont intégrés au sein de la carte MAM (Master Activation Map). Elle reçoit ainsi les signaux issus des traitements ascendants et descendants et établit une représentation de la scène. La sortie de la carte MAM définira à elle seule l'orientation de l'attention. Ce processus est pris en charge par le système opérationnel qui va orienter l'attention en direction de l'activité la plus forte au sein de la carte MAM et inhiber les activités correspondant aux stimuli non pertinents. Enfin, le troisième et le dernier système est directionnel. Il est constitué d'une unité de régulation de ressources attentionnelles et d'une unité de genèse et de maintien de buts liés à la tâche. Le recours à l'utilisation de ce modèle nous a permis de recueillir une preuve expérimentale de l'existence des cartes de saillance et de pertinence de leur interaction mais aussi de leur indépendance (Cerf, 2011).

3. Méthodologies mises en œuvre

Afin d'étudier les différents déterminants des comportements en conduite automobile, j'ai été amenée à utiliser différentes méthodes et outils complémentaires car ils permettent de mener des études tout au long d'un continuum allant de l'action située à l'expérimentation en situations contrôlées tout en prenant en compte les auto-déclarations formulées par les participants. Au travers d'enquêtes, d'observations de terrain et d'expérimentations en laboratoire, j'ai été amenée à développer différentes techniques de recueil et d'analyse de données. Pour étudier les états internes du conducteur, nous avons recours à la méthode de triangulation qui permet d'inférer l'état du conducteur à partir de l'analyse des événements auto-rapportés et des mesures physiologiques et comportementales recueillies.

3.1 Les enquêtes

Les méthodes d'enquête permettent de dégager les faits à comprendre et à expliquer via des allers-retours entre les résultats des enquêtes et la ou les théories s'y référant. L'élaboration de l'enquête passe par la définition de ses objectifs, la détermination de l'échantillon de sondage, la définition de la forme de l'enquête, le pré-test du questionnaire. Ensuite le recueil de données peut être lancé et le dépouillement passe par des étapes de tri à plat, puis des analyses bivariées et multivariées.

Durant ma carrière, j'ai utilisé trois types d'enquête : des enquêtes postales via auto-questionnaires, des enquêtes en face à face et une enquête longitudinale via un suivi de cohorte utilisant un mode de collecte mixte (enquête postale, en face à face puis téléphonique). J'ai pu développer différentes compétences permettant d'établir un meilleur contact avec le répondant, d'être attentive à la formation des enquêteurs et ainsi de pouvoir mieux superviser le déroulement de la collecte de données.

Une première enquête postale m'a permis d'étudier la contribution de différents facteurs (socio-démographiques, habiletés métacognitives, attitudes et comportements) à la mise en œuvre d'autorégulation déclarées du type « évitement de situations de conduite difficiles » (Gabaude et al., 2010). Une seconde enquête postale a été menée afin de mieux comprendre les difficultés rencontrées par les conducteurs âgés lors de la réalisation de manœuvres de stationnement (Douissembekov et al., 2014).

Une enquête a été menée en milieu hospitalier auprès de personnes accidentées de la route (Galera et al., 2012 ; Bakiri et al., 2013). L'entrevue personnelle avec le répondant permet d'obtenir un meilleur taux de réponse et de faire des observations complémentaires. Cette technique nécessite un très bon contact avec le milieu hospitalier et la présence d'attachés de recherche clinique.

Dans le cadre du projet ANR Safe Move, une cohorte de conducteurs ayant plus de 70 ans a été constituée et suivie durant 2 ans (Lafont et al., en préparation¹⁴). Dans cette étude nous avons utilisé un mode de collecte mixte à l'aide d'enquêtes postales et/ou téléphonique et de visites à domicile. Afin d'améliorer le taux de retours, les personnes n'ayant pas retourné les questionnaires postaux ont été relancées par téléphone. Ce type d'étude permet d'identifier différentes trajectoires de

¹⁴ • Lafont S, Mintsá-Eya C, Coquillat A, Paire-Ficout L, Chavoix C, Fabrigoule C. Factors of self-estimation of cognitive abilities in older drivers: results of the SAFE MOVE cohort study. Plos Medicine.

vieillesse, de connaître les déterminants des comportements ou attitudes étudiés et d'analyser l'évolution des comportements suite à la survenue de divers événements de vie.

Les résultats recueillis au travers d'enquêtes ont fait l'objet de 5 publications (OS1, ACL7, ACL9, ACL12, ACL13, ACL16) et 2 stages (RS6, RS7, voir Annexe 5).

3.2 Analyse de l'activité de conduite

L'analyse de l'activité est un processus rigoureux qui permet d'explorer le contexte typique de réalisation d'une activité, les exigences et les significations potentielles pouvant lui être attribuées (Levasseur et al., 2011). Comme évoqué au préalable, la conduite automobile est une activité de la vie quotidienne particulièrement complexe qui nécessite des fonctions visuelles, motrices et cognitives. Or il existe au cours du vieillissement une baisse légère des capacités dans ces différents domaines, et en particulier dans la sphère cognitive, qui peut avoir des répercussions sur les capacités de conduite automobile. Un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information apparaît, accompagné de perturbations des processus attentionnels (Jacqmin-Gadda et al., 1997; Le Carret et al., 2003) et ces perturbations cognitives vont s'aggraver chez certaines personnes âgées atteintes de pathologies cérébrales. Il convient donc d'arriver à identifier les individus qui peuvent présenter un sur-risque d'accident. Cependant, ceci n'est pas forcément aisé car une baisse légère des capacités cognitives est parfois réversible et il est alors possible d'agir sur les comportements afin de pouvoir améliorer la performance de conduite. Ces actions peuvent être spontanées, de l'ordre de l'autorégulation ou alors consécutives à une intervention (par des techniques de sensibilisation ou des techniques éducatives). Afin de mieux comprendre comment agir, il était nécessaire de clarifier le rapport entre la performance à des tests des capacités visuelles, cognitives ou motrices et la performance en conduite automobile. L'approche de la cognition située est importante pour comprendre la performance en conduite automobile (i.e. mener des actions efficaces dans les situations rencontrées). Différents facteurs influencent cette performance : les capacités d'un individu mais aussi son potentiel d'adaptation. Afin de pouvoir mieux sonder ce potentiel, il est important d'explorer les savoir (connaissances initiales et acquises indispensables pour bien conduire), les savoir-faire (liés à l'expérience et l'expertise) et les savoir-être (dépendant des comportements et attitudes au volant) (Whithaar et al., 2000).

Différentes méthodes d'observation peuvent être employées pour effectuer de l'analyse de l'activité et ainsi décrire les modes opératoires adoptés par les conducteurs. Les données dites naturalistes sont recueillies à l'aide de véhicules d'études prêtés aux conducteurs pendant plusieurs semaines. Les évaluations de conduite complètes sont menées par des moniteurs d'auto-écoles et des experts en conduite automobile. Ces deux types de méthodes permettent de repérer les moments critiques lors d'un trajet, de comprendre les facteurs ayant contribué à leurs survenues, d'identifier l'erreur ou la succession d'erreur attribuables au conducteur et de pouvoir a posteriori mieux définir les seuils critiques auxquels il serait souhaitable d'intervenir. Les approches conjointes à partir d'études de données d'accidents et d'incidents sont essentielles pour réduire le nombre de blessés graves et de morts sur nos routes. Par ailleurs, ces approches sont indispensables pour améliorer les performances des assistances à la conduite (en identifiant les seuils auxquels il serait préférable d'intervenir) et identifier de nouvelles solutions technologiques. Elles permettent aussi de proposer des entraînements et des programmes éducatifs adaptés et d'améliorer la conception des infrastructures routières.

Au travers de notre réflexion menée ces 15 dernières années sur l'évaluation de la performance de conduite, nous avons pu prendre part à la validation d'une méthode standardisée d'évaluation de la performance de conduite. La TRIP (Test Ride for Investigating Practical fitness to drive) est une grille

d'évaluation standardisée fréquemment utilisée (De Raedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000 ; Withaar, Brouwer, & Van Zomeren, 2000). Il s'agit d'une grille complétée par un moniteur d'auto-école suite à un épisode de conduite. Elle permet d'effectuer une évaluation sur plusieurs dimensions (position latérale, distance de sécurité, adaptation de la vitesse, exploration visuelle, perception et réaction face aux événements, anticipation, communications). Il est ainsi possible de réaliser une évaluation des adaptations stratégiques, tactiques et opérationnelles (De Raedt et al., 2000). Cette grille permet d'obtenir un score global et trois différents sous scores selon les adaptations mises en œuvre par les conducteurs (tactique, compensation tactique et opérationnel). Une grille d'analyse de l'activité complémentaire et un framework logiciel (Bind : outil pour l'analyse de l'activité) ont aussi été développés au Lescot afin de contribuer à la validation de cette méthode d'évaluation.

Des expérimentations de terrain et sur simulateur ont fait appel à de l'analyse de l'activité, elles ont été valorisées par la production de 3 articles (ACL3, ACL6, ACL10, voir Annexe 5)

3.3 Mise en œuvre d'expérimentations en psychologie expérimentale pour mieux comprendre l'influence de différents processus cognitifs

La psychologie expérimentale permet l'étude des comportements directement observables. Il s'agit d'une méthode descriptive qui permet d'établir un lien de causalité entre des événements interne ou externe à l'individu et son comportement. Elle consiste à tester des hypothèses formulées à partir d'un contexte théorique en cherchant à les confirmer ou les infirmer. En recherche appliquée, nous cherchons ensuite à valider ces hypothèses sur le terrain. Un reproche fait à cette discipline est qu'elle tend à décrire les processus cognitifs comme des mécanismes singuliers pouvant être décrits indépendamment du contexte global de fonctionnement de l'être humain.

Dans les plans de recherches classiques en psychologie expérimentale, les variables dépendantes et indépendantes sont précisées. L'expérimentateur tente de contrôler le maximum de variables pouvant influencer l'effet d'une ou de plusieurs variables indépendantes, on parle de plan expérimentaux lorsque toutes les variables sont provoquées ou quasi-expérimentaux lorsqu'au moins une variable est invoquée car on ne dispose que d'un contrôle limité sur cette variable. Dans ces plans, l'expérimentateur a recours à plusieurs méthodes pour manipuler les variables indépendantes : le maintien des variables à un niveau constant, la variation systématique ou la variation au hasard lorsque l'échantillon est important. Deux principaux plans de recherche sont classiquement utilisés : des plans à mesures répétées lorsqu'il y a une comparaison intra-sujet de type avant-après ou alors des comparaisons inter-sujets entre deux groupes de personnes, dans ce cas, nous cherchons à constituer, par appariement, des groupes les plus homogènes possibles.

La psychologie expérimentale est complémentaire à l'analyse de l'activité car elle permet de créer des ponts entre la micro et la macrocognition. Ces dernières années la complémentarité de ces deux approches m'a, par exemple, permis de mieux décrire comment les conducteurs âgés mobilisaient leur ressources cognitives pour optimiser le réglage de la balance saillance pertinence en vision (cf. p24 section oculomotrice).

Ces travaux ont été valorisés par la production de 5 articles (ACL3, ACL4, ACL15, ACL19, OS2, voir Annexe 5)

3.4 Le recours à la psycho-physiologie et aux neurosciences cognitives

Les outils d'étude de la cognition ne cessent de se développer en partie avec les progrès des techniques d'imagerie médicale mais aussi grâce à l'avancée des connaissances en neurosciences intégratives et

adaptatives. Différentes techniques psycho-physiologiques permettent de mieux comprendre les activités cognitives comme l'oculométrie, l'électro-encéphalographie, les mesures de la réponse électrodermale et de l'activité cardiaque. Deux évènements conjoints m'ont incité à renforcer l'utilisation de ces méthodes : l'arrivée au Lescot de deux jeunes chercheurs (Alexandra Fort et Christophe Jallais) et le rapprochement universitaire opéré avec le laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC) de l'université Lyon 2. Plus récemment l'émergence de la neuroergonomie nous a incités à investir plus de temps dans cette direction. Concernant l'ancrage universitaire de ces travaux, la création récente de l'équipe EMC-COSy travaillant sur les bases cognitives et neurales de l'utilisation d'outils, l'étude de l'influence d'outils d'assistance et de facteurs externes sur les performances de conduite et l'identification des déterminants cognitifs de la diffusion d'outils dans un système multi-individus devrait me permettre de renforcer le recours à ces méthodes (en collaborant plus particulièrement avec Jordan Navarro).

Il existe d'ores et déjà des équipes qui ont permis, par des mesures comportementales et physiologiques, de détecter les états attentionnels dégradés des conducteurs. Une étude a même créé un algorithme de détection de la distraction à l'aide de données oculaires et de conduite pour détecter la distraction du conducteur avec des taux de détection excellents (> 96% ; Liang et al, 2007). Les systèmes actuels détectent la distraction au volant mais aucun système ne permet encore de détecter l'inattention liée au vagabondage de la pensée. Je souhaite ainsi mettre ces méthodes à contribution pour arriver à progresser sur cette question.

3.4.1 La mesure de l'activité cardiaque et de la respiration

Ces techniques permettent l'étude de l'influence des émotions sur les régulations opérées en conduite automobile. Elles permettent d'examiner l'impact des émotions sur les processus cognitifs sollicités en étudiant les réactions physiologiques associées. De même, à un niveau plus cognitif, à partir des mesures du rythme cardiaque et de la respiration, l'effort cognitif du conducteur peut aussi être évalué. En effet, la mesure de l'effort cognitif par la variation du rythme cardiaque (VRC) a été plusieurs fois mise en évidence (Kaiser et al. 1996). Pour attester de sa validité, un parallèle a été fait avec les variations cérébrales simultanées et de très fortes corrélations ont été mises en évidence entre VRC et les potentiels évoqués cérébraux (Braboszcz et al., 2011). En revanche, pour des raisons physiologiques, il existe des liens forts entre rythme cardiaque et respiration. Ce phénomène est appelé Arythmie Sinusale Respiratoire (ASR). Afin d'améliorer la sensibilité de cet indicateur d'effort cognitif, il convient donc de supprimer du signal cardiaque l'influence de la respiration. Une technique de modélisation de la respiration a été validée (Choi et al., 2011). Il convient donc maintenant de savoir si la VRC corrigée de l'influence de la respiration est un indicateur suffisamment sensible pour permettre de détecter en temps réel l'effort cognitif. Par ailleurs, compte tenu du développement très rapide des techniques de mesures sans contact de l'activité cardiaque (par analyse de flux vidéo issus de caméras optiques par exemple), il est important de développer nos connaissances autour de ces méthodes.

Ces travaux ont été valorisés par la production de 2 articles (ACL2, OS4, voir Annexe 5)
--

3.4.2 Oculométrie

L'oculométrie est une technique d'analyse du regard qui, en repérant en temps réel la position du regard, permet de comprendre l'influence des processus cognitifs sur la recherche visuelle. Elle permet de visualiser le décours temporel et spatial des opérations cognitives qui s'enchaînent lors de la réalisation d'une activité cognitive. En effet, les mouvements oculaires permettent l'exploration visuelle des scènes complexes et l'attention visuelle est orientée par des processus ascendants et

descendants. L'oculométrie rend donc compte des déplacements de l'attention. Elle permet aussi de distinguer les opérations initiales de traitement d'une information des opérations de contrôle. Différents types de mouvements oculaires existent : poursuite, nystagmus, rotation, clignements, dérives et deux indicateurs cognitifs sont extraits des mesures spatio-temporelles produites, il s'agit des fixations et des saccades. Une fixation est définie lorsque l'œil est «relativement» stable à une position. Selon la tâche réalisée, sa durée varie de 120 ms à 1 seconde. En effet, les fixations sont affectées en temps réel par les processus cognitifs (les durées de fixation varient en fonction des difficultés lexicales et attentionnelles). Les informations visuelles ne sont acquises que lors des fixations. Les fixations sont entrecoupées par des saccades (sauts très rapides entre les fixations) et la vision est supprimée durant la saccade (suppression saccadique). Les saccades servent à déplacer la fovéa sur le centre d'intérêt (pour des distances supérieures à 30° d'angle visuel, un mouvement de tête est généré).

L'oculométrie permet de réaliser des analyses synchroniques ou diachroniques en fonction des variables dépendantes que nous allons choisir d'utiliser. Dans des plans expérimentaux classiques en psychologie, les analyses synchroniques permettent à l'aide des durées de fixation ou de l'amplitude des saccades de réaliser des analyses de variances pour comprendre l'effet de différentes variables indépendantes. Les analyses diachroniques sont plus difficiles à mener. Elles consistent à analyser l'intégralité du parcours visuel et à le comparer entre différentes situations tests.

Les analyses des données oculométriques ont progressé à mesure du développement de cette technique, et sont aujourd'hui nombreuses et abouties en ce qui concerne l'analyse des parcours oculaires sur des images statiques. En revanche, dans le cadre de l'étude de la conduite automobile, comme des activités dynamiques en général, les images présentées au conducteur sont dépendantes à la fois de l'environnement de conduite, mais aussi de ses propres actions sur le véhicule via le volant et les pédales, ce qui rend ces techniques d'analyse peu pertinentes. Très récemment, nous avons réalisé un travail méthodologique afin de comparer différentes méthodes d'analyse à partir de données oculométriques collectées en situation dynamique de conduite automobile ; dans des conditions expérimentales différentes, il s'agissait d'étudier la localisation du point de regard durant les courbes. Les quatre méthodes ont été définies par rapport à l'analyse des positions du regard (1) dans un référentiel écran en deux dimensions, (2) selon des zones d'intérêts fixes définies dans ce même référentiel écran, (3) selon des zones d'intérêts dynamiques définies dans un référentiel relatif à la tâche de conduite et (4) dans un référentiel défini sur un point dynamique de la scène visuelle (Navarro et al., en révision).

Ces travaux ont été valorisés par la production de 3 articles (ACLS3, ACL8, ACTI5, voir Annexe 5)

3.4.3 Stimulation galvanique

Dans le cadre des travaux menés à l'Ifsttar, j'ai utilisé le simulateur de conduite pour plusieurs expérimentations. Il présente l'avantage de faire conduire les conducteurs dans des conditions reproductibles et sans s'exposer au risque d'accident mais un inconvénient majeur limite son utilisation : de très nombreux participants ressentent plus ou moins rapidement le mal du simulateur (MS). Différentes méthodes ont été testées dans le but de le limiter voire le supprimer l'apparition des symptômes liés au MS : des bracelets d'acupressure, des médicaments, ou encore la stimulation galvanique vestibulaire ou cutanée (Hay et al., 2013 pour revue). La stimulation galvanique est la technique la plus récemment utilisée (Reed-Jones, Reed-Jones, Trick, Toxopeus, & Vallis, 2009 ; Reed-Jones, Reed-Jones, Trick, & Vallis, 2007 ; Reed-Jones, Vallis, Reed-Jones, & Trick, 2008). Elle consiste en l'application d'un faible courant électrique dispensé par l'intermédiaire d'électrodes. 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). Pour ces deux techniques, les électrodes sont respectivement placées bilatéralement sur l'os mastoïde ou sur les muscles sternocléidomastoïdiens. La SGV permet 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). La SGC va, quant à elle, activer les afférences sensorielles cutanées entraînant une légère sensation au niveau de la nuque (Reed-Jones et al., 2009). Sur la base des travaux de Reed-Jones nous avons mis en œuvre la technique de SGC de la nuque et testé son efficacité de la auprès de conducteur jeunes et âgés. Une efficacité différenciée selon l'âge a été mise en évidence : cette technique réduit le mal du simulateur chez les jeunes conducteurs mais elle n'est malheureusement pas efficace auprès des conducteurs plus âgés (Hay et al, soumis). Compte tenu de la réduction des thématiques prioritaires opérées par l'Ifsttar, nous avons décidé de ne pas continuer à creuser cette question de recherche.

Ces travaux ont été valorisés par la production de 2 articles (ACL5, ACLS4, voir Annexe 5)

3.5 Animation de la recherche

Au travers des collaborations engagées et des projets financés, j'ai été appelée à effectuer des activités d'animation scientifique autour de mes deux principaux thèmes de recherche (Vieillesse et conduite automobile et défaut d'attention en conduite automobile). De 2008 à 2015, j'ai animé le groupe de travail « Vieillesse et Facteurs Capacitants » au sein du GDR CNRS Psycho-Ergo puis ensuite au sein d'Arpège (Association pour la Recherche en Psycho-ErGonomie et Ergonomie). De 2004 à 2013, j'ai assuré la coordination du projet ANR Dakota avec A. Chapon et A. Fort. Puis, avec C. Brusque, P. Philip et D. Davene, j'ai ensuite animé le RESAT (Réseau Eveil Sommeil Attention dans les Transports) et assuré la coordination du projet ANR ATLAS (Assessing Low Traffic Attentional Status ; Gabaude, 2013). Depuis 2013, j'assume à mi-temps la fonction d'Animateur d'Axe Ifsttar. Cette fonction consiste à promouvoir la recherche transversale aux cinq départements Ifsttar sur tous les thèmes liés à l'analyse et à l'innovation pour promouvoir une mobilité durable et responsable et à assurer le suivi de ces activités pour le compte de la direction scientifique Ifsttar.

3.5.1 Animation des recherches autour des défauts d'attention au volant

L'ensemble des travaux réalisés dans le cadre du projet ANR-DACOTA ont permis des avancées importantes sur le thème des défauts d'attention au volant. En effet, durant toute la durée du projet, les échanges scientifiques entre les équipes autour de la définition des concepts et le partage d'expérience ont permis une assez bonne convergence vers un cadre conceptuel commun. Le niveau de ressources de l'attention (dimension d'intensité), la sélectivité, le mode d'orientation de l'attention (endogène/exogène) sont des dimensions essentielles. Des méthodologies novatrices ont été développées afin de répondre aux questions posées : calcul des années de vie perdues dans les accidents survenus en situations de conduite exigeantes sur le plan de l'attention, adaptation de tâches de psychologie cognitive à la simulation (Attentional Network Task), amélioration de protocoles expérimentaux utilisés dans les activités de normalisation (Lane Change Task), implémentation de scénarii types d'accidents en conduite simulée, apport des données de neurophysiologie en simulation de conduite. Ces méthodologies ont été employées auprès de conducteurs présentant ou non des caractéristiques particulières (e.g. personnes âgées, conducteurs infractionnistes, patient TDAH, conducteurs expérimentés). Les résultats différenciés obtenus militent en faveur de recherches prenant en compte les caractéristiques des conducteurs. Par ailleurs, ces travaux ont confirmé la nécessité de prendre en compte les buts poursuivis par le conducteur car ils déterminent les éléments sélectionnés dans la scène, la sélection pouvant s'opérer de manière consciente ou non. Enfin, dans

les situations de double tâche, le délai temporel dans le traitement des informations est une composante essentielle.

Dix-sept laboratoires français ont conduit des expérimentations grâce au financement ANR. Ce projet a permis au total à plus de 660 participants de prendre part aux expérimentations. Grâce à ces premiers résultats, il a été possible de sensibiliser le public sur les questions de recherche soulevées par ce thème.

Les enjeux sociétaux que représentent les problèmes d'attention au volant sont tels que les efforts de recherche dans ce domaine se sont poursuivis via l'**animation du Réseau Eveil Sommeil Attention Transport (RESAT)**. La communauté RESAT, a continué à se mobiliser pour favoriser les échanges et les débats scientifiques entre les équipes du réseau par l'organisation de journées scientifiques et l'incubation de projets de recherche. Deux livres blancs ont été produits (Chapon et al., 2006 ; Phillip et al., 2007).

3.5.2 Animation du groupe de travail Vieillesse, Handicap et Facteurs Capacitants (GDR CNRS 3169) devenue ensuite Commission Vieillesse d'ARPEGE

En tandem avec Jean-Claude Marquié, j'ai eu le plaisir d'animer un groupe de travail (GT) au sein du GDR Psycho-Ergo. Notre GT a perduré pendant toute la durée de vie du GDR et au delà puisque les activités se sont poursuivies au sein de Association pour la Recherche en Psychologie Ergonomique et Ergonomie (ARPEGE).

Les recherches de notre GT étaient au cœur de quatre enjeux sociétaux majeurs : (1) le maintien dans l'emploi des seniors - cette question répond à une actualité brûlante dans les systèmes de production du fait des mesures incitant à la prolongation de la vie active, ce qui soulève de nombreuses difficultés en matière d'organisation du travail, de conception des postes et de formation tout au long de la vie ; (2) la promotion d'un vieillissement réussi - le coût économique et social d'un vieillissement dégradé est lourd pour nos sociétés et il apparaît de plus en plus évident que les expériences professionnelles influencent fortement le développement des aptitudes cognitives, sensorielles, et motrices dans le dernier tiers de la vie; (3) le maintien à domicile des personnes ayant des besoins spécifiques - pour favoriser le maintien à domicile de ces personnes, le rôle de l'ergonomie, appliquée à l'environnement domestique et public ainsi qu'aux technologies d'assistance, est primordial, autant pour les usagers que pour les professionnels qui interviennent au domicile ; (4) le maintien de la mobilité - l'enjeu des recherches en psychologie ergonomique concernant la mobilité et les transports est de préserver la capacité à se déplacer par soi-même le plus longtemps possible, tout en assurant la sécurité pour soi et pour les autres.

Un enjeu scientifique plus fondamental des recherches sur cette thématique réside dans leur contribution irremplaçable aux modèles en psychologie et biologie du développement que permettent l'étude de la variabilité interindividuelle des performances dans des contextes écologiques, les grandes quantités de pratiques spécialisées et les longues expositions à certains facteurs « capacitants » et incapacitants qui sont disponibles en milieu professionnel. Ces conditions propices ne peuvent être obtenues que dans le contexte de situations écologiques ou, en tout cas, grâce à une bonne connaissance de ces situations. De même, les propriétés de divers environnements techniques et organisationnels offrent des opportunités nouvelles pour étudier les limites des capacités humaines à divers âges et pour préciser les mécanismes d'adaptation cérébraux et comportementaux dans les situations de handicap. Le handicap est considéré ici non comme une propriété de la personne mais de la relation homme, tâche, environnement.

Les quatre années de fonctionnement du GDR ont permis au groupe de travail d'identifier et rendre plus visibles en interne et en externe les travaux sur le thème. Elles ont aussi permis d'élargir les réseaux personnels des membres. Seule la réflexion collective, telle que favorisée par le GDR, pouvait permettre d'analyser, comme cela a été fait, les verrous scientifiques, techniques et structurels dans notre champ de recherche. Le travail collaboratif a favorisé le recensement des réseaux connexes où nous sommes déjà présents et ceux où il serait opportun d'accentuer notre présence. Si certaines réalisations effectuées dans le cadre du GDR sont dans la continuité des collaborations antérieures, de nouvelles collaborations ont été initiées y compris avec des entreprises comme la SNCF, par exemple.

Quarante-cinq chercheurs ont participé aux activités de notre GT, dont un peu moins de quinze participants actifs. Une quinzaine de laboratoires issus de diverses institutions ont été impliqués : plusieurs laboratoires CNRS, des laboratoires universitaires, et des laboratoires de l'IFSTTAR. Les travaux menés en psychologie du vieillissement en France portent majoritairement sur le vieillissement normal et pathologique de la mémoire et des fonctions exécutives, et plus secondairement sur les stratégies palliatives observables au niveau neurologique et comportemental. Sur ces deux axes, les membres du GT sont présents, avec une perspective développementale (tout au long de la vie), une attention particulière portée aux influences de l'environnement et aux implications dans la vie quotidienne, et avec des méthodologies complémentaires aux seules approches de laboratoire (études ergonomiques de terrain, études sur simulateur, approche épidémiologique).

Au travers de nos activités au sein du GDR Psycho-ergo, nous avons constaté qu'en dépit d'une demande sociale en croissance rapide, les équipes constituées, visibles et possédant une expérience sur la thématique du vieillissement restaient rares au plan international. Le GDR a, à cet égard, contribué à accroître la visibilité internationale des travaux français. Cela s'est notamment effectué au travers des publications et de la présentation régulière des travaux du GT dans des manifestations internationales majeures qui ont un caractère spécifique au regard de la thématique, ou un caractère non spécifique, mais faisant une place généralement importante au thème. Dans plusieurs domaines, mais tout particulièrement dans le domaine de la mobilité et des transports, des collaborations internationales sont actives, par exemple au travers du réseau d'excellence Humanist et de projets de recherche sur contrats. Dans la plupart des domaines, les travaux français s'inscrivent dans des thématiques également abordées à l'étranger. Toutefois, sur certains aspects on peut relever l'existence de recherches davantage représentées en France, notamment en ce qui concerne les effets « capacitants » et incapacitants à long terme des expositions professionnelles de nature cognitive et non cognitive sur le développement cognitif chez l'adulte. C'est le cas aussi pour des travaux portant sur la métacognition, via des approches en termes d'autorégulation en milieu de travail et dans la mobilité des personnes âgées et handicapées.

Le groupe thématique a réalisé une série d'opérations collaboratives classées en 4 thématiques principales : (1) la prévention du vieillissement et du handicap cognitif, (2) le maintien des seniors en emploi et en activité, (3) la mobilité et les transports chez les seniors et (4) les seniors et les nouvelles technologies (Gabaude & Marquié, 2011).

Concernant la mobilité et les transports chez les seniors, quelques directions de recherche prioritaires avaient été identifiées et décrites dans deux revues de questions effectuées à l'occasion d'un numéro spécial du Travail Humain (Marquié & Gabaude, 2010) et dans une chapitre d'ouvrage rédigé collectivement au Lescot (Rogé et al., 2009).

4. Synthèse des principaux résultats obtenus

Les recherches développées au Lescot ont pour objectif principal d'analyser les attitudes et comportements des usagers des transports sous l'angle des processus cognitifs mis en jeu. Dans ce contexte, je porte un intérêt particulier à la description des processus d'adaptation au vieillissement qui permettent aux usagers de rester fonctionnels dans de nouvelles conditions. En effet, dans la majorité des cas, l'être humain cherche spontanément à adapter son comportement afin de maintenir une performance optimale en matière de sécurité et de confort. Les recherches que je mène au Lescot visent à comprendre, à l'aide d'enquêtes, d'observations et d'expérimentations, comment le conducteur régule spontanément son comportement et à identifier les barrières et les solutions à la mise en œuvre d'adaptations comportementales. Il s'agit de s'appuyer sur la démarche phare en psycho-ergonomie (visant à étudier la sécurité en action) pour comprendre les difficultés rencontrées par les conducteurs âgés (i.e. les limites aux stratégies d'adaptation) afin d'imaginer des solutions les plus efficaces possibles en matière de formation et de conception d'assistances. Les recherches menées permettent aussi de proposer une aide à la décision publique.

Dans mes premières années de carrière, mon projet de recherche était guidé par un enjeu sociétal majeur auquel il fallait répondre : le vieillissement de la population va-t-il augmenter l'insécurité routière ? Comment aider au développement des aptitudes des conducteurs seniors ? A la différence de mes collègues du Lescot travaillant sur le vieillissement pathologique (Laurence Paire-Ficout et Claude Marin-Lamellet), mon projet de recherche a été volontairement tourné vers l'étude du vieillissement cognitif normal et les adaptations comportementales qui en découlent. Rapidement mes travaux se sont orientés vers l'étude du déclin cognitif et de la survenue de défauts d'attention en conduite automobile (la population âgée, particulièrement exposée, étant une population idéale pour aborder ces questions de recherche).

Thème 1 : Analyse de l'activité de conduite des personnes âgées grâce aux apports de la psycho-ergonomie

La mobilité couvre un large domaine et peut prendre de nombreuses formes. Le déplacement peut se faire dans un espace privé ou public, de façon libre ou instrumentée, avec un sujet actif ou passif. Parmi les moyens de cette mobilité, l'automobile occupe une grande place si l'on en juge par la forte dépendance manifestée à son égard et la difficulté que les personnes âgées ont à s'en séparer. Comme le montrent certaines études, les personnes âgées dont la santé s'est dégradée sont souvent amenées à cesser de marcher ou d'emprunter les transports en commun, avant de cesser de conduire (Taylor & Tripodes, 2001). Pour ces différentes raisons, mon projet de recherche a été tout d'abord centré autour de l'analyse de l'activité de conduite automobile des seniors.

Le nombre d'articles publiés dans le domaine du vieillissement a crû de manière importante aux cours des 30 dernières années. Ce phénomène s'est accompagné d'une progression sans précédent des connaissances sur les changements fondamentaux qui affectent les capacités humaines avec l'âge. Ces dernières éclairent sans aucun doute les difficultés que rencontrent les conducteurs les plus âgés. Toutefois, les incidences qu'ont les limitations physiques, perceptives et cognitives liées à l'âge ne se déduisent pas forcément des recherches fondamentales, elles nécessitent aussi des méthodes appropriées aptes à saisir les besoins et les difficultés réels ainsi que les modes opératoires spontanément mis en œuvre par les conducteurs. Les travaux que j'ai mené m'ont permis de mettre en évidence les stratégies d'adaptation au vieillissement, de connaître les déterminants de l'adoption

de stratégies adaptatives par les conducteurs âgés, d'approcher les éléments qui influencent l'autorégulation des conducteurs et de commencer à entrevoir comment évaluer ces capacités d'adaptation. En prenant appui sur l'état d'avancement des connaissances et les besoins qui se font jour dans nos sociétés dans ce domaine, deux directions de recherche ont retenu mon attention : une première direction concerne la sécurité qui reste un prérequis majeur de la mobilité pour les seniors ; une seconde concerne les processus d'optimisation ou d'adaptation du comportement en conduite automobile. Ces deux directions permettent de dégager de nouvelles pistes de recherche visant à promouvoir le développement de l'aptitude à la conduite.

T1.1 Préserver la sécurité de tous les usagers dont les seniors

En collaboration avec Sylviane Lafont épidémiologiste à l'Ifsttar-Umrestte, la contribution des conducteurs âgés au bilan de l'insécurité routière a été étudiée à l'aide d'une analyse rétrospective sur plus de 10 ans de données d'accidentologie routière via le calcul des taux d'années de vie perdues pour différentes classes d'âge de conducteur et pour les autres impliqués (Lafont et al., 2010b). L'article montre que **si, au-delà d'un certain âge, le risque d'accident par kilomètre parcouru augmente, le risque est moindre dans l'absolu et le nombre de vies perdues imputable aux âgés est inférieur à celui imputable aux classes de conducteurs plus jeunes**, ce résultat reste vrai en intersection où les conducteurs rencontrent des difficultés manifestes et où le risque d'accident est le plus élevé pour les plus âgés. Ainsi, en population, les conducteurs âgés ne représentent pas une menace pour les autres conducteurs. Les stratégies d'adaptation aux effets du vieillissement adoptées par les conducteurs semblent ainsi fonctionner, il convient donc de les décrire et de comprendre les freins à leur adoption.

Même si en population les conducteurs âgés ne représentent pas une menace pour les autres conducteurs, il demeure que certains individus sont en sur-risque d'accident du fait d'un vieillissement pathologique ou de comportement de conduite inadaptés. **En guise de prévention des risques, le principe d'un examen régulier de l'aptitude médicale à la conduite à partir d'un certain âge a été adopté dans divers pays** alors que la communauté scientifique n'était pas du tout unanime sur l'efficacité d'une telle procédure. Dans ce débat sur la question de l'aptitude médicale à la conduite, comme nous l'avons rappelé en introduction, plusieurs époques se sont succédées : la détection de troubles visuels et médicaux en prônant un contrôle rendu obligatoire dans la majorité des cas dès 65 ans qui a montré son inefficacité ; la seconde période appelée la révolution cognitive, pour laquelle nous sommes passés d'une approche purement médicale à une approche pluridisciplinaire intégrant les pratiques en neuropsychologie, et qui a permis d'identifier des tests permettant de repérer les individus en sur-risque d'accident ; ensuite, une vaste réflexion s'est alors engagée sur l'évaluation de la performance de conduite et la préservation de l'aptitude à conduire. Sur la base des travaux des projets Européen Agile et Infine, une évaluation en trois tiers a été recommandée. L'apport de la psycho-ergonomie est déterminant dans ce débat car à chacune des étapes de l'évaluation, les connaissances liées à l'action située sont des ressources essentielles.

Nous nous sommes attelés au développement d'outils utilisables à ces différentes étapes. Nous avons conçu et validé des questionnaires permettant d'explorer les comportements aberrants, les habitudes de conduite et les capacités fonctionnelles auto-déclarées (Gabaude et al., 2010). Une étude cas/témoin a été menée sur un groupe de conducteurs âgés sélectionnés sur une base de sinistres fournie par la MAIF (les « cas » ayant eu plus de 4 sinistres sur les 3 dernières années et les « témoins » n'en ayant eu aucun) et des expérimentations de terrains ont aussi été menées afin de valider notre méthode d'évaluation de la performance de conduite. Un outil d'évaluation de la capacité de conduite sur route a été expérimenté (grille d'évaluation de la performance de conduite avec comptage et pondération des erreurs de conduite) et les tests neuropsychologiques les plus sensibles et spécifiques

ont été identifiés (Gabaude et al., 2005). Une réflexion collective a été menée sur l'évaluation de la performance de conduite afin d'arriver à la définition d'un score composite permettant de statuer sur l'aptitude à la conduite (Lafont et al, 2010a). Mes collègues ont identifié deux outils de détection des troubles cognitifs utilisables en médecine générale (TMT et Codes ; Fabrigoule et al., 2012). Des scénarios spécifiques ont été développés sur simulateur de conduite afin d'explorer les capacités d'auto-régulation des conducteurs âgés (Moták, 2011, Hay, 2016) et une réflexion sur les méthodes d'évaluation standardisées utilisables sur simulateur et sur route a été menée.

De nombreux autres chercheurs ont aussi tenté de prédire la performance de conduite à l'aide des performances aux tests cognitifs (Brown, et al., 2005 ; Duchek et al., 1998 ; Duchek, et al., 2003 ; Marin-Lamellet, et al., 2003 ; Uc et al., 2006 ; Whelihan et al., 2005). Durant cette période un consensus a enfin émergé : depuis 2007, la communauté internationale est unanime sur l'inefficacité d'un contrôle médical obligatoire pour tous les conducteurs à partir d'un certain âge ; les chercheurs réfléchissent à l'élaboration d'une procédure de suivi pour la fraction de conducteurs âgés pour lesquels des problèmes de conduite sont suspectés (Langford et al, 2008). Depuis cette période, j'ai réfléchi à la mise en place de procédures de suivi adaptées aux différents profils de conducteurs (Hay et al., 2014). Les travaux que j'ai menés ces dernières années sont destinés à alimenter un programme d'évaluation hiérarchisé de la compétence de conduite qui offre des possibilités de remédiation éducative et qui permet d'aboutir à une décision administrative la plus juste possible. Afin de pouvoir promouvoir le développement de l'aptitude à la conduite, une réflexion sur le potentiel des actions de remédiation éducative a été menée afin de faire profiter au plus grand nombre de conducteurs âgés des connaissances à propos des stratégies d'adaptation au vieillissement utilisables en conduite automobile. L'influence des actions de prévention et de formation proposées aux seniors ont été explorées (Figure 11).

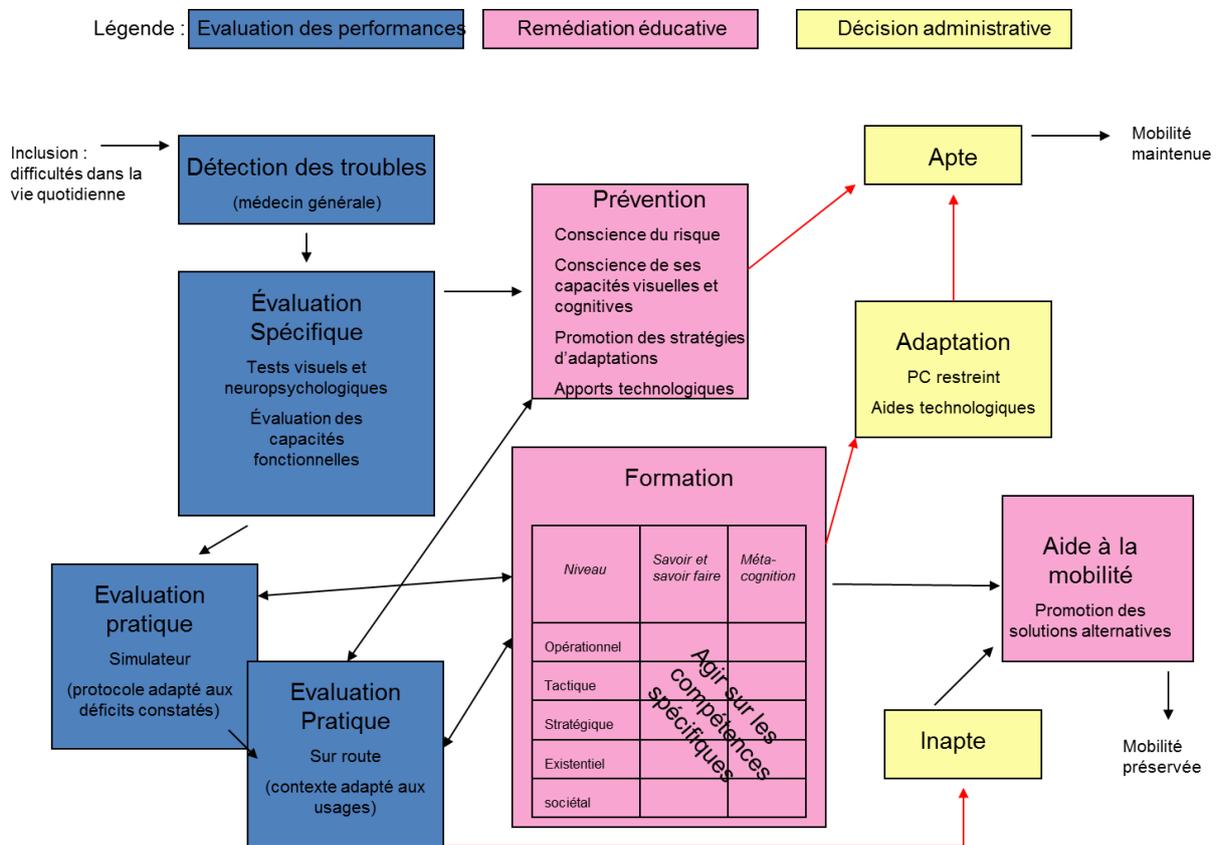


Figure 11 : Modèle d'accompagnement des conducteurs dans l'obtention et le renouvellement de leur permis de conduire

Cette direction de recherche sur la sécurité des seniors a été valorisée au travers de 4 articles (ACL7, ACL16, ACL17, OS6), voir Annexe 5)

T1.2 Mise en évidence des mécanismes d'adaptation aux effets du vieillissement cognitif

L'adaptation est un processus de modification qui s'applique aux organismes vivants, aux objets ou aux organisations humaines. Elle a une finalité fonctionnelle : il s'agit d'une transformation pour aller vers une meilleure adéquation au milieu. Il s'agit d'une notion difficile à utiliser car l'adaptation peut être le résultat ou la cause d'une modification (i.e. influencer sur ou s'accoutumer à). Dans les systèmes complexes, l'adaptation est quasiment impossible à étudier car de ces systèmes émergent de nouvelles propriétés et il n'est ainsi pas nécessaire de rechercher les causalités sous-jacentes. Néanmoins, dans les approches micro et macro-cognitives, il est possible de tenter de décrire les processus d'adaptation. Deux notions sont proches de l'adaptation : le coping et la résilience. Le coping correspond à des efforts cognitifs et comportementaux que déploie l'individu pour répondre à des demandes dépassant ses ressources adaptatives (Lazarus et Folkman, 1984). La résilience est un processus développemental où l'individu s'adapte de manière positive à différentes épreuves (Gutman, 2008). Il apparaît que ces deux notions renvoient à deux formes d'adaptation (synchronique et diachronique) qu'il est important de considérer afin de pouvoir étudier l'adaptation au vieillissement cognitif. Pour atteindre cet objectif, il est aussi nécessaire de poser un cadre d'analyse clair pour étudier les dimensions de l'adaptation et d'opérationnaliser certains concepts théoriques c'est-à-dire trouver des indicateurs d'adaptation valides.

Le vieillissement cognitif est une transformation qui, à la vie adulte, peut affecter les fonctions cognitives. La diminution des ressources cognitives constituerait un facteur explicatif essentiel du vieillissement cognitif. Pour certains auteurs il serait dû à : un déficit des ressources générales (Salthouse, 1991), une altération de la mémoire de travail (surtout quand la charge mentale est élevée ; Van der Linden et al., 1994, Hupet & Nef, 1994), une altération de la mémoire épisodique entraînant un biais de réponse, des difficultés de discrimination et des défauts de mise à jour (Giffard et al., 2003). Ces différents phénomènes entraînent une diminution des ressources disponibles qui peut conduire à des erreurs, des défaillances mais aussi à des adaptations qu'il convient de mieux décrire.

Dans une première période (2002 à 2010), j'ai pu constater un phénomène de ralentissement général chez nos participants âgés et une dégradation de leurs capacités visuo-attentionnelles (Gabaude, 2001 ; Gabaude, 2003). Nous avons montré une relation entre des altérations de l'acuité visuelle dynamique, de la vitesse de traitement d'informations stockées en mémoire de travail et l'augmentation du nombre d'erreurs en conduite automobile (Gabaude et al., 2005). Nous avons aussi montré que, selon la théorie de la détection du signal, la dégradation du champ visuel utile seraient liées à une diminution de la sensibilité perceptive et à une modification du critère de décision tendant à être plus conservateur chez les sujets âgés (Rogé et al., 2009). Cependant, certains déclinés observés au niveau des mécanismes perceptifs et cognitifs n'altèrent pas forcément la compétence de conduite (Gabaude et al., 2005). Deux formes de stratégies construites sur la base de l'expérience ont été tout d'abord étudiées auprès de conducteurs âgés : l'évitement de situations de conduite difficiles et l'automatisation de tâches effectuées en conduite automobile (mécanisme de compilation). Nous avons mis en évidence que les capacités perçues relatives à la vitesse de traitement de l'information et l'attention, jouent un rôle important dans la décision de restreindre la conduite : par rapport aux comportements de conduite auto-déclarés, ces jugements d'auto-efficacité sont un meilleur prédicteur des comportements d'auto-régulation (Gabaude et al., 2010) ; nous avons aussi montré que c'est la surestimation de ses capacités attentionnelles qui est un frein à la mise en place de régulations

de type évitement (Gabaude et al., 2007). Concernant les mécanismes de compilation, nous avons montré que chez les conducteurs âgés, la recherche visuelle est guidée par les connaissances de l'environnement acquises grâce à l'expérience de conduite mais ce mécanisme est moins efficace lorsque le conducteur est distrait (Gabaude et al., 2011). Un mécanisme d'optimisation de la prise de décision semble avoir été identifié : les participants âgés prennent davantage de décisions correctes sur la base de représentations implicites que les plus jeunes (Jallais et al., 2009). L'étude des stratégies visuelles des participants nous a permis de mieux comprendre l'influence d'une tâche distractive sur l'efficacité de la recherche visuelle (Dousssembekov, 2009). Les analyses oculométriques ont confirmé la désorganisation de la recherche visuelle sous l'effet de l'âge ou de la distraction (Cerf, 2011).

L'activité de conduite automobile est une activité de contrôle de processus dynamique. En faisant référence à deux cadres théoriques complémentaires (contrôle cognitif et adaptation au vieillissement cognitif), dans une seconde période (2011 à nos jours), j'ai ensuite cherché à **comprendre comment le conducteur âgé s'adapte pour gérer sa charge cognitive**, en d'autres termes nous avons cherché à décrire comment l'individu agit lorsqu'un écart entre ses ressources et sa performance est constaté. J'ai utilisé la cadre théorique du contrôle cognitif décrit par Hoc et Amalberti (2007) pour étudier les aspects diachroniques et synchroniques de l'adaptation. J'ai aussi mené une réflexion autour de l'apport des connaissances sur les formes d'optimisation du comportement décrites dans le vieillissement. Parmi les facteurs de variabilité du vieillissement cognitif, les effets optimisateurs de l'expérience ont été décrits par Marquié & Isingrini (2001). Il semblait alors intéressant de faire dialoguer ces deux cadres théoriques afin de mieux décrire les régulations opérées et faire émerger de nouveaux indicateurs du contrôle cognitif. Un premier constat a porté sur la définition et le recensement des mécanismes d'adaptation. Pour Hoc et Amalberti (2007), l'adoption d'un compromis cognitif est le résultat de l'adaptation. Il est atteint grâce à un équilibre entre assimilation¹⁵ et accommodation¹⁶. Dans ce modèle il n'est pas facile de comprendre comment ces deux mécanismes opèrent (pour l'assimilation : comment distinguer les buts et les moyens ? comment travailler la question de la hiérarchie des buts ? ; pour l'accommodation : comment opère-t-elle ?) et surtout comment nous pouvons prendre en compte l'expérience dans les mécanismes d'adaptation. Les cinq mécanismes décrits par Marquié & Isingrini (2001) – la compilation, la compensation, la remédiation, la préservation et l'accommodation, permettent de **mieux prendre en compte les effets de l'expérience** (qui passe par un renoncement aux conditions initiales pour préserver une part de la performance ; il s'agit d'une concession faite par l'opérateur). Nous avons pu confirmer que l'*accommodation* correspond bien à des adaptations comportementales qui reposent sur des connaissances métacognitives à la fois des déficits et des moyens disponibles pour maintenir l'activité à un niveau satisfaisant. Ce travail a permis l'adjonction d'un module de contrôle cognitif placé sous la dépendance des facteurs métacognitifs.

Nous avons constaté que de nombreuses stratégies d'optimisation sont spontanément mises en œuvre par les seniors pour contrecarrer les déclinés liés à l'âge (autorégulations) et leur identification est utile pour mettre en place des mesures qui les favorisent et les complètent. La connaissance des cinq mécanismes précédemment décrits nous a permis de mieux affiner les questionnaires utilisés dans nos études. À l'aide d'une enquête menée auprès de conducteurs âgés, les propriétés psychométriques de la version française du Driving Behaviour Questionnaire (DBQ) et les liens

¹⁵ L'assimilation renvoie à l'action du sujet. Elle est dépendante des ressources et de l'appropriation cognitive. Il s'agit d'une simplification de la situation par transformation progressive du fait de l'expérience.

¹⁶ L'accommodation est déterminée par l'objet. Elle va dépendre des exigences de la situation. Il s'agit d'une transformation des structures cognitives mise en œuvre lorsque l'objet ou la situation résistent.

entretenus avec les évitements des situations de conduite difficiles ont été étudiés (Gabaude et al., 2010). Les résultats montrent que le DBQ est un moins bon prédicteur des évitements que l'auto-évaluation des capacités cognitives impliquées dans la conduite. Par ailleurs, les patterns d'autorégulation des conducteurs âgés ont été comparés en conduite simulée à ceux des conducteurs jeunes (Moták et al., 2014). En développant une approche expérimentale novatrice fondée sur les théories métacognitives (Moták, 2011), nous avons démontré que **le modèle de la zone proximale d'apprentissage rend mieux compte des capacités d'autorégulation des conducteurs âgés** (Moták et al., 2012). En explorant les influences de trois classes d'indices métacognitifs susceptibles de modifier l'autorégulation comportementale des conducteurs âgés, un résultat pouvant en partie expliquer l'efficacité modérée des actuelles formations à la conduite proposées aux seniors a été mis en évidence : **les comportements d'autorégulation semblent s'appuyer sur des indices internes** et le fait de vouloir les instruire à l'aide d'indices extrinsèques pourrait mener davantage à une réduction des capacités d'autorégulation qu'à leur supposée amélioration (Moták et al., 2012 ; Brelet et al., sous presse).

Dans le cadre d'un travail conjoint mené dans le cadre des activités du GDR Psycho-Ergo, nous avons formulé une définition complémentaire de l'adaptation en prenant l'exemple des activités dynamiques : nous avons montré que le contrôle cognitif en est une des modalités de l'adaptation, de même que le développement cognitif en cours d'activité (microgenèse) et sur de longues périodes (macrogenèse). Des hypothèses ont été formulées sur les rôles joués par les aspects intensifs de l'activité (sentiment, humeur et émotion) dans les adaptations. Le contrôle cognitif a été discuté en montrant comment il pouvait être complété par les stratégies d'optimisation du comportement avec l'âge ; chaque élément du contrôle cognitif ainsi complété a été éclairé par des données empiriques sur la conduite automobile chez des personnes âgées (Gabaude et al., 2010¹⁷). Ce travail a permis d'illustrer la mise en place d'outils et de méthode pour étudier le contrôle cognitif des conducteurs et de faire ressortir le lien entre l'adaptation et des concepts proches : le développement, le coping et la résilience.

Dans mes travaux ultérieurs aux activités menées dans le cadre du GDR Psycho-Ergo, la question de l'adaptation au vieillissement a été abordée au travers de la notion de réglage du contrôle cognitif en conduite automobile. J'ai cherché à mieux comprendre la dynamique du contrôle cognitif, tout en continuant à étudier l'influence des effets de l'âge sur la conduite. A partir des travaux de Hoc et al. (2009), j'ai cherché à opérationnaliser les notions de sentiment de maîtrise de la situation et de compromis cognitif afin de continuer à mieux décrire les régulations comportementales opérées par les conducteurs et ainsi comprendre les principales dimensions sur lesquelles nous pouvons agir (Figure 12) : comme par exemple, aider les conducteurs à anticiper pour mieux réagir, améliorer l'attention visuelle en comprenant les déterminants du réglage de la balance saillance/pertinence (Douissembekov et al., 2014), aider les conducteurs à développer des savoirs métacognitifs qui permettent d'améliorer leurs capacités d'autoévaluation et d'autorégulation (Hay, 2016), comprendre l'influence des déficits cognitifs sur l'autorégulation et la survenue d'erreur en conduite automobile (Douissembekov et al., 2015).

¹⁷ Les concepts utilisés pour expliciter le contrôle cognitif ont été opérationnalisés de la sorte : le sentiment de maîtrise de la situation par l'évitement de situations de conduite difficiles auto-déclarés, l'auto-évaluation de ses propres compétences (perceptives et cognitives) et l'adoption de comportement de conduite aberrants (DBQ) ; le compromis cognitif par un indicateur du niveau d'abstraction (détection verbalisable ou non de modification à partir d'image).

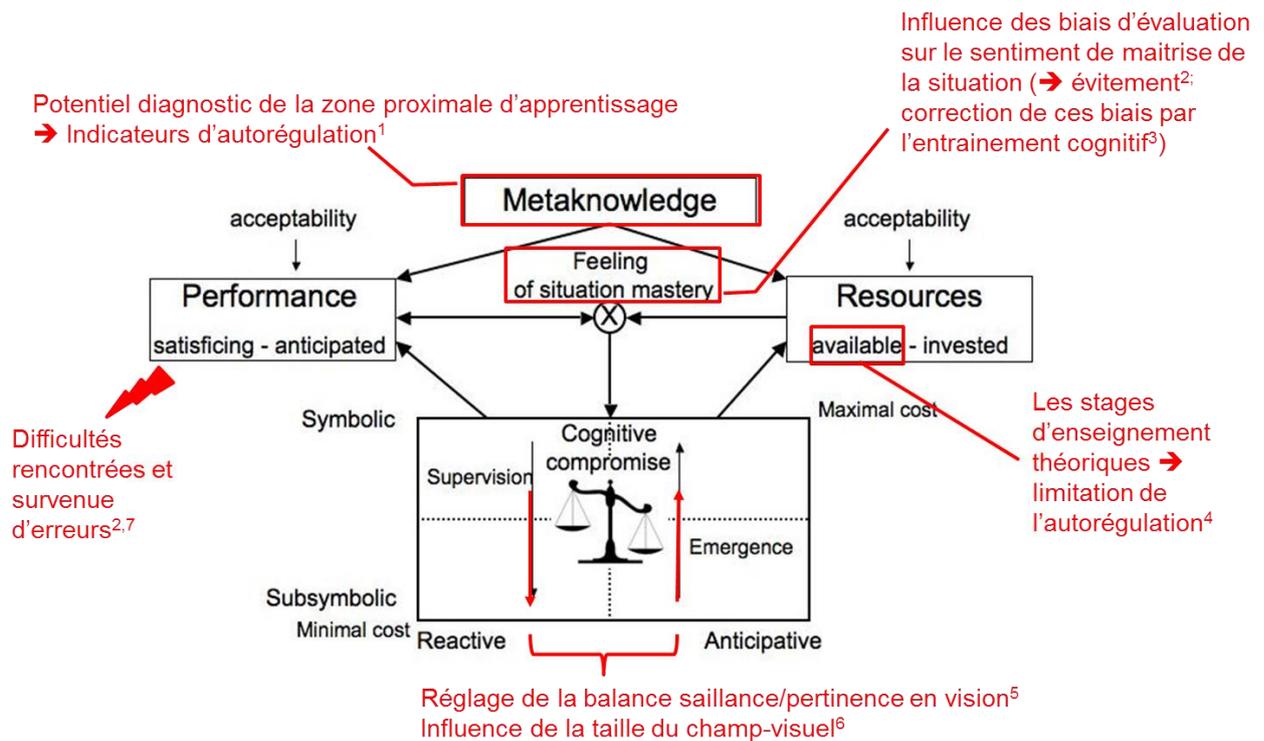


Figure 12 : Bilan des travaux¹⁸ mis en œuvre auprès de conducteurs âgés afin d'étudier le réglage du contrôle cognitif (d'après Hoc et al., 2009)

En synthèse, trois facteurs majeurs pourraient expliquer le potentiel d'adaptation des conducteurs : les stratégies délibérées construites sur la base de l'expérience, l'automatisation de certains processus et le développement de connaissances métacognitives (sur soi, sur les autres et sur les tâches). Il y a là un champ de recherche qui permet de déboucher sur des solutions mieux adaptées aux comportements et aux stratégies spontanées des conducteurs vieillissants, et de définir des orientations en matière de remédiation (via la formation) ou d'accommodation (en ayant recours à des moyens externes, sorte de « prothèses cognitives »).

Sur ce thème « conduite et vieillissement », j'ai encadré quatre thèses dont trois ont été soutenues [Moták, 2011 ; Douissembekov, 2014 ; Hay, 2016]. La première a porté sur la définition des stratégies d'auto-régulation en conduite automobile (Oriot-Claudiel, 2004-2008) ; les trois suivantes ont respectivement porté sur les déterminants de l'autorégulation en conduite automobile, les difficultés rencontrées lors de la réalisation de manœuvres de stationnement et l'impact d'un entraînement cognitif associé ou non à une immersion sur simulateur sur la correction du biais de calibration (sur et sous-estimation de ses capacités cognitives ; la publication en revue de ces derniers travaux est en cours).

Ces travaux ont été valorisés par la production de 10 articles (ACL1, ACL7, ACL9, ACL15, ACL16, OS1, OS2, OS3, OS5, OS7), trois thèses ont aussi été soutenues (MT1, MT2, MT3, voir Annexe 5).

¹⁸ Les chiffres mentionnés en exposant dans la Figure 12 correspondent aux publications référencées dans ma liste de publication : 1-[ACL-13], 2-[ACL-14], 3-[ACTI-1&2&Thèse-1], 4-[ACTI-4], 5-[ACL-2], 6-[ACL-1], 7-[ACL-7].

Thème 2 : La survenue de défauts d'attention en conduite automobile

Les conducteurs âgés représentent une population particulièrement exposée aux défauts d'attention. J'ai mené plusieurs études afin de comprendre les variabilités inter individuelles dans la gestion du contrôle cognitif et la gestion des ressources attentionnelles afin de mieux décrire comment les défauts d'attention peuvent surgir. Outre les activités d'animation de la recherche qui ont été précédemment décrites (section 3.5, page 26), j'ai souhaité dans ce mémoire présenter deux études et un projet ANR qui ont été particulièrement guidants pour avancer les travaux sur cette thématique.

T2.1 Etudier le contrôle attentionnel dans la sélection d'informations pertinentes dans des scènes visuelles complexes

Dans le cadre d'un stage de Master (Cerf, 2011), nous avons étudié la gestion d'activités concurrentes et la focalisation attentionnelle dans la prise d'information visuelle en utilisant le paradigme des images déstructurées de Biederman et al. (1973). A partir de données portant sur la recherche visuelle d'éléments routiers dans des scènes complexes, nous avons abordé la question de la balance saillance/pertinence (BSP) dans la capture attentionnelle en vision en cherchant à comprendre plus particulièrement les effets de l'âge (groupe « jeunes » vs groupe « âgés »), de la tâche (en simple tâche vs en double tâche) et de la condition de présentation de l'image (condition « originale » vs « partiellement mélangée » vs « totalement mélangée ») sur le réglage de cette balance. Dans cette étude, nous avons mis au point deux indices permettant de comparer des données issues de cartes de saillance (algorithme de Itti & Koch, 2000) et issues de cartes pertinence aux parcours visuels recueillis par oculométrie, dans l'objectif de mesurer la part de la saillance et de la pertinence dans la capture attentionnelle en vision. Les résultats ont apporté la preuve expérimentale de l'existence d'un réglage de la balance saillance / pertinence et montrent la nécessité de la disponibilité de ressources attentionnelles pour que ce réglage soit possible (Gabaude et al, 2011). De plus, nous avons montré que malgré leur plus grande expérience de la conduite il y a un effet délétère des tâches cognitives ajoutées sur l'organisation de la recherche visuelle des conducteurs âgés non compensé par un réglage de la BSP plutôt orienté vers la pertinence.

T2.2 Le rétrécissement du champ visuel lié à l'âge impacte les performances de stationnement

Afin de mieux comprendre comment le réglage de la balance saillance pertinence s'opère en situation écologique, nous avons réalisé une manipulation paramétrique de la saillance et la pertinence sur des éléments contextuels en conduite automobile (Douissembekov et al., 2015). Le modèle MAM a été utilisé pour étudier l'attention visuelle et le comportement de conduite chez des participants jeunes et âgés durant les manœuvres de stationnement. La saillance et la pertinence des éléments présents dans l'environnement de stationnement ont été expérimentalement manipulées lors des manœuvres. Différents effets sur les manœuvres ont été observés en fonction des caractéristiques des conducteurs tels que l'âge et l'étendue du champ de vision. Il a été constaté que la présence d'un élément pertinent, comme un piéton, avait un impact sur la réalisation des manœuvres. Ceci a amélioré la performance de stationnement chez les conducteurs âgés présentant un champ visuel restreint. Les effets distincts de saillance et de la pertinence suggèrent que ces deux caractéristiques ont des statuts différents dans le traitement attentionnel lors de la réalisation de la manœuvre.

T.2.3 Détecter l'inattention au volant : un enjeu de sécurité routière et un défi technologique

De 2009 à 2013, j'ai eu le plaisir de coordonner le projet ANR ATLAS¹⁹ (Assessing Traffic related low Attentional Status). La problématique du projet consistait à estimer les sur-risques d'accident liés à différents types de défauts d'attention et à comprendre leurs causes ou origines et leurs conséquences sur la conduite automobile. De nombreuses recherches se sont intéressées à l'impact des distractions au volant mais très peu à l'inattention provoquée par les propres pensées du conducteur. Ce projet a proposé d'avancer sur ce thème novateur dont la littérature scientifique croit rapidement.

Les résultats épidémiologiques que nous avons obtenus via une enquête réalisée en milieu hospitalier ont montré que l'attention au volant constituait un gisement de sécurité routière susceptible de faire baisser le nombre des victimes sur nos routes (Galera et al., 2012 ; Bakiri et al., 2013). Les résultats expérimentaux ont présenté les influences de différents types de contrôle cognitif (contrôle attentionnel, régulation émotionnelle et inhibition comportementale). Différentes stratégies de régulation de l'effort cognitif en conduite automobile ont été décrites. Ce projet a confirmé un fort enjeu de santé publique sur ce thème. Des méthodes innovantes en psychologie expérimentale ont été mises en œuvre et des perspectives pour rendre la conduite moins coûteuse au plan attentionnel ont été décrites ainsi qu'un inventaire critique des méthodes permettant de lever de nouveaux verrous technologiques. L'ensemble de ces informations figurent dans le rapport final du projet (Gabaude et al., 2013a). Voici une synthèse de deux résultats majeurs.

Identifier les fractions de risque attribuables à différents types de défauts d'attention afin de mieux les prévenir

Les accidents de la circulation sont encore responsables de 4 000 décès chaque année en France. On sait depuis longtemps que l'inattention et la distraction occupent une place importante dans les erreurs et les échecs des interactions entre un conducteur, son véhicule, et son environnement, en particulier lorsque les interactions homme-machine sont médiées au travers de paradigmes d'interfaces peu pervasifs. Ce n'est pourtant que récemment que des travaux de recherche s'emploient à comprendre, à mesurer le rôle de l'inattention et à identifier les solutions technologiques et comportementales qui seraient susceptibles d'améliorer la sécurité routière.

Afin d'identifier les fractions de risque attribuables à différents types de défauts d'attention, un enquête a été menée en milieu hospitalier. 955 conducteurs blessés suite à un accident de la voie publique ont été interrogés suite à leur admission aux urgences du CHU de Bordeaux. Il leur était demandé de rapporter le contenu et l'intensité de leurs pensées dans les instants précédant l'accident. Sur les 453 conducteurs rapportant des pensées vagabondes, le contenu s'est avéré intense ou perturbant pour 121. Ces pensées étaient significativement plus fréquentes chez les conducteurs responsables de l'accident. Il apparaît ainsi qu'un accident sur dix trouve sa cause dans les pensées intrusives du conducteur (Galra et al., 2012). Les distractions liées aux événements extérieurs au véhicule et à l'activité du conducteur sont aussi associées à la responsabilité (OR de 3,3 et de 9,6 respectivement). La part attribuable des accidents corporels liés à la distraction externe est estimée à 8 % (Bakiri et al., 2013).

Comprendre l'influence de différents défauts d'attention sur le comportement des conducteurs

Trois formes d'interférence cognitive ont été hiérarchisées selon leurs effets sur le comportement de conduite simulée et sur le traitement de l'information (avec la technique des potentiels évoqués ;

¹⁹ Impacts des inattentions sur la conduite automobile : approche multidisciplinaire (psychologie cognitive, neuro-physiologie, épidémiologie, mathématique)

Figure 13). Les distractions cognitives visuo-spatiales impactent l'anticipation (étudiée à l'aide de la variation contingente négative, CNV) alors que les distractions verbales impactent le traitement de l'information aux étapes du traitement sensoriel et cognitif. Concernant les conducteurs induits en tristesse, soit ils étaient plus rapides (avec une facilitation neuronale sensorielle et cognitive, amplitude des ondes N1 et P3 plus grande) soit plus lents qu'en situation contrôlée.

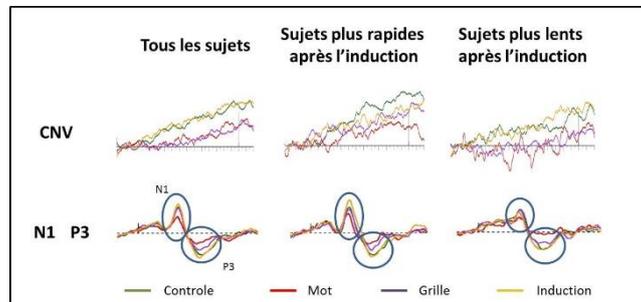


Figure 13 : Potentiels évoqués représentant la CNV et les ondes N1 et P3 pour l'ensemble des participants, puis séparément dans deux groupes pour les 4 conditions expérimentales

Des expérimentations menées sur simulateur puis sur route (Figure 14 ont montré que : la régulation émotionnelle agit sur l'orientation attentionnelle (Pêcher et al., 2011) ; les pensées rétrospectives et prospectives modifient les stratégies oculaires (fixité du regard et augmentation du diamètre pupillaire) (Lemerrier et al., 2014) ; l'augmentation de l'effort cognitif se traduit par une augmentation du rythme cardiaque associée à une diminution de sa variabilité. Cependant, des différences interindividuelles dans la régulation de l'effort cognitif ont été constatées (les conducteurs en état de flow psychologique sont très concentrés et ne déclarent pas d'effort cognitif ; Gabaude et al., 2012).



Figure 14 : Véhicules instrumentés utilisés pour les expérimentations sur route et en simulateur

Les influences du vagabondage de la pensée sur le risque d'accident et sur le comportement de conduite ont été démontrées, ceci permet d'entrevoir des pistes de recherche et de développement originales qui seront détaillées dans la partie projet scientifique de cette HDR. La complémentarité de deux types de méthodes permettant d'analyser l'impact de la distraction cognitive sur l'activité de conduite par des analyses exploratoire et confirmatoire a été discutée. Les méthodes de Géométrie de l'information appliquées aux données de contrôle latéral du véhicule permettent l'identification de seuils au-delà desquels il est probable que le conducteur réalise une activité concurrente à la conduite (Letelier, 2012). Ces critères ne sont cependant pas toujours sensibles en raison de la variabilité des comportements observés. Les données collectées sur autoroute auprès d'une vingtaine de conducteurs en utilisant les paradigmes expérimentaux et les méthodes développés dans ce projet ont été analysées. Les premiers résultats confirment que le contrôle latéral du véhicule est modifié lorsque les conducteurs sont cognitivement distrait (en ligne droite, l'écart-type de l'angle au volant est plus grand et, en courbe, le signal de position sur la voie pourrait être sensible). Les outils mis en œuvre dans ce projet permettent d'enrichir les données de conduite à l'aide d'une analyse psycho-ergonomique de l'activité. Cette approche est requise afin d'identifier, à partir des données de contrôle latéral, les algorithmes les plus sensibles et spécifiques possibles. Des nouveaux projets de recherche devront être menés afin d'avancer dans la caractérisation des conducteurs (au travers de la

définition de typologies et la définition individualisée de comportements en conduite nominale – comportement de référence) en vue de pouvoir faire des diagnostics d'états des conducteurs.



Figure 15 : Comment sortir le conducteur du labyrinthe de ses pensées ?

Par la confrontation de différents points de vue disciplinaires, ce projet a permis des avancées conséquentes sur le thème des défauts d'attention au volant. Nous avons commencé à comprendre les causes et les origines de différents défauts d'attention et leurs conséquences sur la conduite automobile. Les techniques d'analyse exploratoire de données séquentielles et d'apprentissage supervisé (data-mining) appliquées aux données de conduite collectées sur autoroute vont permettre de rechercher des algorithmes aptes à identifier un conducteur distrait. De nouveaux défis technologiques, constituant à adapter les assistances en fonction de l'état du conducteur, pourront ainsi prochainement être relevés.

De manière plus générale, ces travaux visent à améliorer le contrôle cognitif d'opérateurs placés en situation dynamique. Les résultats de ce projet sont transférables au-delà du domaine de la conduite automobile. Ces résultats novateurs sur l'influence du vagabondage de la pensée sur le contrôle attentionnel en situation dynamique pourront également avoir des implications dans le domaine du transport ferroviaire, aérien, maritime et fluvial, ainsi qu'en sécurité au travail. Ils permettent de faire face à des enjeux sanitaires, économique et sociaux importants en limitant les risques d'accidents.

Ces travaux ont été valorisés par la production de 6 articles (ACL2, ACL6, ACL10, ACL12, ACL13, OS4, voir Annexe 5), une thèse est en cours pour poursuivre ce travail (voir section 5.3.4, p69).

5. Projet scientifique

Dans le projet scientifique que je développe, je souhaite répondre conjointement à deux défis majeurs : **faire face au vieillissement de la population en œuvrant pour un numérique inclusif et solidaire** (et non un numérique exclusivement dédié au renforcement de la compétitivité de la France, comme on le présente trop souvent). L'enjeu majeur de la loi d'adaptation de la société au vieillissement (loi n°2015-1776 du 28 décembre 2015) est de répondre au souhait principal de la population vieillissante : vieillir chez soi. Pour y répondre, il convient donc de penser à un système d'accompagnement contribuant à aider les personnes, même fragilisées et moins mobiles, à vieillir chez elles. L'enjeu secondaire vise à contribuer au développement de la filière économique d'avenir que représente la « Silver Economy » (en particulier par le développement d'actions innovantes d'accompagnement des personnes âgées et en imaginant des espaces urbains, des transports et des logements qui autorisent les personnes âgées à rester dans leur quartier et leur chez soi, même lorsqu'ils deviennent plus vulnérables). Dans l'enquête nationale menée dans le cadre du rapport Silver Economie, un second souhait est formulé par la population vieillissante : son besoin de mobilité est très clairement exprimé en matière de mobilité quotidienne mais aussi de mobilité de loisir. Les voyages adaptés aux personnes âgées sont plutôt du type « voyage en famille de 4 jours environs sur des lieux adaptés ». Enfin, cette loi stipule qu'il convient aussi de contribuer à faire progresser l'espérance de vie sans incapacité par des interventions plus précoces et en proposant un accompagnement spécifique lors des ruptures des parcours de vie. Par cette loi, les politiques publiques donnent un signal fort pour amorcer un changement de paradigme sur le regard porté sur le vieillissement. Dans les années à venir, j'aurai à cœur d'aider la société à s'adapter.

Dans ce projet scientifique plusieurs ruptures théoriques et méthodologiques ont été souhaitées. Sur le thème de la conduite automobile des seniors, je pense avoir aujourd'hui une bonne vision globale de la problématique. La maturité atteinte sur ce thème va me permettre, en plus de continuer à développer des actions de recherche, de m'investir dans des activités d'expertise et de conseils. Je souhaite participer activement au développement de stratégies pluri-professionnelles pour promouvoir une mobilité sereine pour nos seniors²⁰. Je désire aussi optimiser leurs options de mobilité en participant à l'élaboration d'un cadre conceptuel global pour le maintien de la mobilité qui sera guidé par l'idée de capabilité²¹ introduite par Amartya Sen (prix Nobel d'économie, 1998) et dans lequel les choix opérés par les citoyens seront maximisés et la notion d'autorégulation gardera une place centrale. **La recherche sur le facteur humain pose quelques problèmes théoriques en lien avec le paradoxe de l'intelligence pratique** auquel nous devons nous confronter (en abordant les questions de visibilité-invisibilité de signes, de confiance, d'arbitrage et de coopération). Dans nos interprétations, il faudra être attentif aux trois formes d'agir : l'agir instrumental basé sur des rationalités cognitives par rapport aux buts visés, l'agir moral guidé par des rationalités sociales orientées vers des normes sociales (l'entente, le bien vivre ensemble) et l'agir expressif se fondant sur des rationalités intersubjectives par rapport à la présentation de soi ; ces trois dimensions du fonctionnement humain sont intégrées lorsque l'on étudie la coopération (Dejours, 2014). **Une rupture méthodologique importante va aussi s'opérer** dans les années à venir. Après 10 ans d'ouverture vers la psychologie cognitive, je souhaite entreprendre un ressourcement des savoirs enseignés dans ma discipline universitaire d'origine en appliquant les théories et les outils issus des neurosciences et de l'ergonomie aux problématiques des facteurs humains. Avec Alexandra Fort et Christophe Jallais, pour répondre à de nouvelles questions de recherche, nous souhaitons **développer**

²⁰ Traduction de safe mobility

²¹ La possibilité effective qu'un individu a de choisir diverses combinaisons de fonctionnements

une approche en neuroergonomie. Le domaine de la neuroergonomie a pour visée la conception de systèmes plus sûrs, garantissant une plus grande efficacité du couple opérateur/système, en se basant sur les connaissances actuelles et émergentes dans le domaine des neurosciences et de l'ergonomie. Sous l'impulsion des travaux princeps de Parasuraman & Rizzo (2007), une petite communauté s'est composée et la première conférence internationale en neuroergonomie se tient à Paris en 2016. Il y a deux ans, alors que l'Ifsttar était en plein exercice de réduction de ses thématiques prioritaires, nous avons opéré cette rupture méthodologique afin de pouvoir profiter de la dynamique impulsée par cette communauté émergente. La démarche de compréhension des défaillances humaines était plutôt portée par les sciences de l'ingénieur et plus récemment par les sciences cognitives et aujourd'hui la neuroergonomie. Les théories des facteurs humains doivent tenir compte de la dimension bio-cognitive (physiologie des régulations, processus cognitif que l'on s'efforce à décrire et à analyser). Ses concepts de base sont les représentations, l'intentionnalité, les stratégies et l'homme est acteur d'une rationalité stratégique qu'il conviendra aussi d'explicitier. L'axe principal de nos recherches sera centré autour de l'analyse du comportement du conducteur à l'aide d'approches neurocomportementales et neurophysiologiques. Plusieurs réponses électro-physiologiques seront étudiées : réponses électrodermale, fréquences respiratoires et cardiaques, dilatation de la pupille. Le réseau de collaboration mis en place par Alexandra Fort nous permettra de travailler avec un centre lyonnais d'imagerie cérébrale. Nous pourrions aussi collaborer avec Emmanuelle Reynaud de l'université Lyon 2. Elle a développé deux méthodes multivariées pour analyser les données d'IRMf (cartes auto-organisatrices de Kohonen pour l'étude de la spécialisation fonctionnelle, Fournel & Reynaud, 2011 ; et technique basée sur la moyenne de Fréchet pour l'étude de la connectivité fonctionnelle, Fournel et al, 2013). Ceci nous permettra d'extraire de l'information sur le fonctionnement cérébral et particulièrement sur la localisation des processus cognitifs afin de mieux comprendre les substrats neuronaux en cause lorsque nous observerons des mécanismes défaillants. Ces travaux auront pour finalité de mettre en place des outils de suivi de situation pour la prédiction/détection de conflits conducteurs/systèmes embarqués, de définir des contre-mesures cognitives (IHM évolutives) qui s'adaptent au contexte de la situation et à l'état de l'opérateur (stress, fatigue, somnolence) et de développer des moyens d'expérimentation pour l'étude des interactions hommes/machines.

Durant mon prochain projet quadriennal, les recherches entreprises viseront à **améliorer la participation sociale des seniors, réduire le risque de dépendance évitable et contribuer au développement d'outils innovants** permettant aux seniors de rester en capacité de se déplacer de manière sereine. De nombreuses instances soulignent que le monde de la santé publique doit passer d'une réflexion purement en santé, à un modèle plus social et, la psycho-ergonomie fondée sur l'étude des trois formes d'agir précédemment évoquées, peut apporter une contribution intéressante. Les travaux sur l'influence du transport sur la participation sociale des seniors seront à valoriser afin de créer des ponts entre les politiques de santé et de sécurité routière. La révolution numérique en cours conduit à des évolutions distinctes et complémentaires dans le monde du transport : l'individualisation des transports en commun, la mise des transports individuels (automobile, vélo) au service du collectif, le développement de technologies qui peuvent compenser les défaillances du conducteur et qui pourraient devenir des prothèses cognitives, une possible compensation du déclin de la mobilité physique par la mobilité numérique. Par ailleurs, l'essor conjoint de l'économie collaborative et son émergence dans le champ des transports doit aussi être considéré. Les usagers âgés ne doivent pas être exclus de cette révolution numérique, ceci sera essentiel pour faire face aux changements démographiques annoncés. Dans ce contexte, je souhaite accompagner cette révolution afin de favoriser l'utilisabilité de ces nouveaux modes de transport par les seniors et garantir leur acceptabilité. Ces travaux seront abordés au travers d'une réflexion autour du parcours de vie (projet personnel, état de santé, autonomie dans la vie quotidienne, environnement familial et social,

ressources). En ligne avec ces désirs, le projet scientifique présenté dans cette HDR, cherche à donner un plus large survol de ma problématique en traçant quatre directions de recherche à long terme et en formulant des premières propositions ou hypothèses de travail.

5.1 Accompagner la puissance publique sur certaines questions en lien avec la mobilité des séniors et la sécurité routière

Dans mon projet scientifique, je souhaite profiter de la création du département TS2 (Transport, Santé, Sécurité) à l'Ifsttar et en particulier d'une thématique de recherche prioritaire sur l'« aide à la décision publique en matière de sécurité routière » pour prendre part à ce travail qui doit être mené de manière pluridisciplinaire afin d'éviter les biais cognitifs – *biais des experts vers leurs propres domaines de connaissances et de recherche jugeant plus important ce qui répond à leurs centres d'intérêt les conduisant à surévaluer une option technologique ou un service* (Hussler & Rondé, 2006). L'aide à la décision publique était historiquement fondée sur des travaux d'économistes dont la tradition remonte à Henri Navier, Joseph Mignard et Jules Dupuy ; elle est sortie du domaine exclusif de l'économie publique pour passer de recherches sur l'économie de marché vers des recherches sur les normes politiques et morales de réciprocité qui s'attachent à comprendre les fondements de la justice, de la redistribution et de la solidarité (Baslé & Malgrange, 2006). Cette évolution conjointe avec une opportunité d'ouverture à la pluridisciplinarité représentent une aubaine pour aborder les questions en lien avec l'adaptation de la société au vieillissement. Tentons donc de penser ensemble un système de transport qui permette aux seniors d'être autonomes le plus longtemps possible !

5.1.1 Travaux de recherche et d'expertise en sécurité routière

Les travaux de recherche et d'expertise menés viendront en soutien au développement des travaux autour de l'évaluation et de l'appui aux politiques publiques en sécurité routière. Les contacts établis avec la DSCR²² et mon implication dans différents comités ou groupes de travail devraient faciliter la concertation. L'arrivée à maturité des connaissances autour des méthodes d'évaluation de l'aptitude à la conduite et les actions en cours à la DSCR (groupe de travail sur les tests psychotechniques) devraient conjointement permettre, sur la thématique du suivi des conducteurs, de proposer à court terme un meilleur accompagnement des conducteurs et de nouvelles mesures pour réduire encore l'insécurité routière (en particulier mettre en place une évaluation de l'aptitude pluri-professionnelle hiérarchisée et proposer des arbres de décision selon les pathologies ou infractions constatées).

Poursuite du travail autour des mesures destinées à baisser l'accidentologie des personnes âgées

Dans un travail d'expertise réalisé en 2014, nous avons proposé au CNSR²³ 10 mesures en sécurité routière²⁴ (Lafont et al., 2014). Parmi ces mesures, certaines ont été intégrées à la loi d'adaptation de

²² Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières

²³ Conseil National de Sécurité Routière

1. ²⁴Porter à la connaissance de la population générale des informations sur le risque pour autrui en fonction de l'âge du conducteur âgé
2. Favoriser la diffusion des connaissances sur l'impact du vieillissement sur l'activité de conduite
3. Favoriser la diffusion des connaissances sur l'impact du vieillissement chez les piétons
4. Sensibiliser les médecins généralistes à leur rôle de conseil sur l'aptitude à la conduite
5. Proposer un protocole cognitif pour détecter des troubles pouvant perturber la conduite automobile
6. Proposer un protocole d'évaluation des performances de conduite de certains conducteurs âgés
7. Proposer un protocole d'accompagnement de certains conducteurs
8. Proposer des aménagements pour les infrastructures routières et piétonnières
9. Favoriser le développement de moyens de déplacement alternatifs à la conduite automobiles utilisables par les personnes âgées

la société au vieillissement (pas d'instauration d'examen médical obligatoire après 75 ans) d'autres restent à retravailler afin d'assurer la sécurisation de la mobilité des personnes âgées et promouvoir les initiatives pour la production de véhicules et équipements adaptés aux âgés. Il est par exemple prévu que les personnes âgées soient représentées au sein des commissions communales d'accessibilité. Pour que ces représentations soient efficaces et bénéfiques, il sera nécessaire d'accompagner ces acteurs à exercer leur citoyenneté, c'est-à-dire révéler leur pouvoir d'agir²⁵. Il ne faut pas oublier les modifications affectives causées par les aspects psychologiques du vieillissement. Dans la population âgée certaines personnes font partie des mécontents et dépréciateurs. La comédie française écrite et réalisée par Etienne Chatiliez en 1990 nous rappelle ce profil en la personne de « Tatie Danielle ». Quiconque aura conduit des entretiens de groupe en compagnie de personnes âgées comprendra cette remarque. Dans la mise en application de cette loi, certains écueils seront à éviter. Une bonne concertation entre acteurs et la diffusion de documents d'accompagnement devraient être envisagés. Dans cette loi, il est aussi prévu d'étendre les bénéfices des services de conseil en mobilité dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants. Si ceci passe par la création des agences de mobilité, de nombreuses idées développées dans cette HDR pourraient être ainsi portées collectivement.

La DSCR a par ailleurs accepté pour financement le projet COSERA²⁶. Ce travail mené en partenariat avec Sylviane Lafont vise à produire, d'ici deux ans, un rapport de synthèse permettant de mieux comprendre dans quelles situations de conduite la responsabilité des conducteurs âgés est fortement engagée, à identifier les difficultés conscientes ou non que peut entraîner le vieillissement, et à proposer des actions de prévention et des programmes de réentraînement adaptés aux conducteurs âgés en les aidant à estimer correctement leurs compétences et à mettre en place des stratégies adaptées en conduite automobile. Deux volets sont abordés : un volet accidentologique dans lequel des travaux sur la responsabilité et la mesure du risque pour autrui seront réalisés à partir des données du projet ANR VOIESUR ; et un second volet dans lequel sera dressé un inventaire critique des interventions proposées aux conducteurs âgés. Une réflexion sur un arbre de décisions permettant de faciliter le suivi des conducteurs âgés sera menée. Ce projet devrait contribuer à une meilleure connaissance des situations d'accident impliquant au moins un conducteur âgé et dans lesquelles il est nécessaire de proposer des interventions dans le cadre d'un suivi.

Encadrement du travail des psychologues réalisant les examens psychotechniques du permis de conduire

En 2016, j'ai remplacé Claude Marin-Lamellet pour poursuivre les travaux du groupe de travail DSCR sur les tests psychotechniques. Suite à la parution du décret (2016-39 du 22 janvier 2016) précisant les conditions pour la réalisation des examens psychotechniques en cas de suspension du permis de conduire, il convenait d'écrire le ou les arrêtés ultérieurs. Sur la base d'un travail préalable effectué par l'INSERR et de nos connaissances quant aux qualités psychométriques requises lors de l'utilisation de tests, nous avons défini la liste des qualités requises pour de bons tests psychotechniques (standardisés, valides, fidèles, consensuels). Sur demande de la DSCR, en collaboration avec Marc Saintot²⁷ et Julien Adrian²⁸, nous avons tout d'abord conduit une revue de la littérature sur les tests psychotechniques et/ou neuropsychologiques les plus pertinents pour déceler des troubles du comportement impactant la conduite automobile. Après avoir consulté une soixantaine d'articles scientifiques, nous avons fait le constat que seulement trois tests répondaient partiellement à nos attentes (i.e. être compréhensible, disposer d'une fiche de consigne, d'exemple, de 2 à 3 exercices

10. Ne pas imposer un contrôle médical systématique

²⁵ Traduction du terme « Empowerment »

²⁶ La conduite des séniors : responsabilité et adaptation

²⁷ Psychologue au sein des services de santé des armées

²⁸ Psychologue à l'institut de la vision

différents, d'un guide d'interprétation et d'un échantillonnage de référence ; validité prédictive ayant été démontrée) : 1) l'UFOV® (Useful Field Of Vision) bien que n'étant pas encore traduit en français, 2) la MOCA® (MONTreal Cognitive Assessment) bien que n'étant pas accessible aux personnes ne maîtrisant pas ou mal la langue française et 3) Bearn (Brief Evaluation of Alcohol Related neuropsychological Impairment) dont la validité prédictive n'a pas été explorée. J'ai ensuite décidé de rencontrer des psychologues de terrains expérimentés afin de pouvoir recueillir leurs expertises et en faire un retour synthétique à la DSCR. Ce travail m'a conduit à formuler des recommandations pour encadrer le travail des psychologues et des éditeurs de tests psychotechniques afin que les psychologues soient en mesure de donner un avis plus facilement utilisable par les médecins agréés pour le permis de conduire. Les travaux menés par ce groupe ont permis d'accompagner la DSCR afin d'arriver en 6 mois à la rédaction d'un arrêté et de sa circulaire d'application (Annexe 2). La mission de l'Ifsttar devrait se poursuivre dans les années à venir puisque la DSCR a requis notre avis pour qu'elle soit en mesure de produire la liste des tests psychotechniques recommandés. Il nous est aussi demandé de participer à un second groupe de travail destiné à encadrer la formation des psychologues en charge de ces examens et ainsi favoriser la concertation entre psychologues et médecins afin d'aller vers de meilleures évaluations, la rédaction d'avis plus aidants pour éclairer la décision du médecin et un meilleur suivi pour ces conducteurs.

Au cours de ce premier travail d'expertise pour la DSCR, j'ai compris combien il était important d'apporter notre concours à la puissance publique afin d'être en mesure de formaliser collectivement une demande qui réponde aux attentes de tous et éclairer la décision publique. Il s'agissait ici de préciser les limites et la valeur ajoutée des tests et de l'examen psychotechnique en interpellant la DSCR sur les bénéfices d'un examen pluri-professionnel permettant de réaliser un accompagnement des conducteurs confrontés à des difficultés psychologiques particulières liés des facteurs personnels ou environnementaux pouvant conduire à moments de rupture dans leur vie. Il reste un travail intéressant à produire pour aller vers une décision d'aptitude à la conduite la plus juste possible et agir pour le développement de cette aptitude. Un travail pluri-professionnel récent piloté par la Haute Autorité de Santé (HAS) et conduit par un médecin du travail, formule de très nombreuses recommandations de bonnes pratiques à destination des médecins impliqués dans le suivi de patients après lésion cérébrale acquise non évolutive (Annexe 3). Dans le cadre des échanges que nous entretenons avec la DSCR, il pourrait être intéressant d'étudier comment ce travail peut aussi bénéficier aux médecins de commission du PC dans l'exercice de leur mission élargie.

5.1.2 Développer des collaborations avec les acteurs qui contribuent à une politique de sécurité routière efficiente

Différents types d'acteurs existent dans le domaine de la sécurité routière : les acteurs publics de différents ministères et des collectivités territoriales mais aussi des acteurs privés du monde associatif ou du monde de l'entreprise. Par ailleurs de très nombreux citoyens se sentent eux aussi acteurs de la sécurité routière. Emmanuel Barbe, actuel délégué interministériel à la Sécurité Routière, énonce avec humour être celui qui a la chance d'avoir un nombre incalculable de collègues. Ainsi, prétendre vouloir développer des collaborations avec l'ensemble des acteurs qui contribuent à une politique de sécurité routière efficiente n'est pas réaliste. Dans cette section, je présente les personnes avec lesquelles je souhaite interagir afin de trouver de nouveaux gisements de sécurité routière.

En premier lieu, les **médecins et les professionnels de santé** impliqués dans la prise en charge et le suivi de leurs patients sont amenés à se poser des questions sur leur aptitude à la conduite, que leurs patients soient âgés ou non. Si une réglementation existe concernant l'aptitude médicale à la conduite automobile, elle ne décrit pas précisément les moyens et modalités d'évaluations nécessaires à l'élaboration d'une réponse adaptée à cette problématique de santé publique. Par ailleurs, comme

ceci a été mentionné tout au long de ce document d'HDR, la conduite automobile est une activité auto-régulée : l'automobiliste choisit lui-même de conduire ou de ne pas conduire, d'adopter des comportements pour adapter sa conduite aux caractéristiques de l'infrastructure et des situations rencontrées, de gérer les interactions avec les usagers partageant le même espace de circulation. Le médecin doit donc être en mesure d'évaluer les capacités d'adaptation de son patient - ces dernières pouvant s'exprimer au travers de composantes perceptivo-cognitives, méta-cognitives et socio-cognitives (Groeger, 2000) - afin de s'assurer qu'il ne présente pas un sur-risque d'accident pour lui-même et pour autrui. Il doit aussi pouvoir exercer son devoir d'information portant à la fois sur sa pathologie, son traitement et ses conséquences.

Des supports d'information existent pour aider les médecins dans leur rôle de conseil auprès de leurs patients. Néanmoins, de nombreuses interrogations demeurent lorsqu'un doute sur l'aptitude à conduire existe. En effet, en France, un contrôle systématique de l'aptitude à la conduite n'est pas préconisé. Il revient au médecin généraliste ou au spécialiste, de conseiller son patient sur sa capacité à conduire. Très rarement, des patients sont orientés vers des médecins agréés pour le permis de conduire qui, au travers d'un entretien plus poussé et d'examens complémentaires conduits par des spécialistes et des psychologues, délivrent un avis d'aptitude. Dans le cas de pathologies affectant les fonctions cognitives, les médecins sont très souvent démunis et il convient de les aider à mieux identifier les individus en sur-risque d'accident. Une initiative récente va permettre de réorienter mes actions de recherche et de les dynamiser.

Ces trois dernières années, un travail sur la reprise de la conduite automobile après une lésion cérébrale acquise non évolutive a été piloté par la Haute Autorité de Santé et mené sous la coordination d'Anne-Claire d'Apolito (Patricia Delhomme de l'Ifsttar faisait partie de l'équipe). Ce groupe a produit une recommandation pour la pratique clinique qui a permis de définir le meilleur processus de repérage, d'évaluation et d'accompagnement des personnes victimes de lésions cérébrales acquises non évolutives pour lesquelles la question de la reprise de la conduite automobile se pose. A ma connaissance, ce travail mené par la HAS est le **premier travail pluri-professionnel consensuel mené sur la question de l'aptitude à la conduite**. Ces recommandations vont profiter à tous les professionnels de santé impliqués dans la prise en charge et le suivi de personnes présentant des pathologies neurologiques acquises non évolutives : les médecins de médecine physique et de réadaptation et plus largement ceux exerçant en établissement de Soins de Suite et Réadaptation, les neurologues, les médecins généralistes, les médecins agréés pour le permis de conduire, les autres médecins spécialistes, les ergothérapeutes, les neuropsychologues, les masseurs-kinésithérapeutes, les orthophonistes, les infirmiers, les orthoprothésistes et les orthoptistes. Les autres professionnels impliqués (les assistants de service social, les enseignants de la conduite et les inspecteurs de la conduite automobile) pourront aussi profiter de ces recommandations.

En l'absence de consensus dans la littérature, la méthode suivie par ce groupe a été élaborée à partir de la réglementation française, des différences de parcours de soins et de séquelles possibles en fonction des pathologies. Ce groupe a proposé d'aborder la question du repérage d'une possible incompatibilité à conduire selon trois groupes distincts de pathologies : les accidents vasculaires cérébraux (dont les accidents ischémiques transitoires), les traumatismes crâniens et quelques autres pathologies dont les problèmes médicaux sont proches (anoxie cérébrale, méningo-encéphalite, encéphalite). La question du « comment repérer ? » a été abordée parallèlement à celle de « qui est repéré ? », « quand repérer ? », « qui repère ? ». Une fois la question du repérage abordée, ce groupe a aussi souhaité répondre à « quand évaluer ? ». La synthèse des recommandations formulées par ce groupe est très bien élaborée (Annexe 3) et va permettre d'orienter mes travaux à venir sur la problématique de l'aptitude à la conduite.

La dynamique impulsée par ce travail réalisé par la HAS et rendue public en février 2016 m'a permis de donner de nouvelles orientations à mes travaux de recherche. Par ailleurs, l'arrivée au 1^{er} septembre 2016 de Maud Ranchet, en retour d'une mobilité effectuée au Simulator Lab à l'Université d'Augusta, devrait nous permettre de pouvoir collectivement étendre nos travaux à la question de la gestion médicale des capacités versus incapacités à la conduite dans les domaines du vieillissement normal et pathologique et du handicap. Nous restons convaincus qu'il est prioritaire de travailler sur la question de l'accompagnement des patients afin qu'une possible altération des capacités à conduire ne résonne pas sur les possibilités de participation de la personne. Pour prolonger les travaux sur la problématique de la reprise de la conduite automobile et de l'évaluation de l'aptitude, à court terme, j'ai souhaité impliquer une étudiante en Master 2 sur un sujet qui permettra de valider, voire affiner les arbres de décision publiés par la HAS. A plus long terme, plusieurs pistes de recherche sont précisées.

En concertation avec mes collègues de l'Ifsttar (Laurence Paire-Ficout, Maud Ranchet et Martine Hours) et Hanna Chainay (responsable du Master à l'Université Lyon 2) nous avons décidé d'encadrer, durant l'année universitaire 2016-2017, un stage de Master 2 en neuropsychologie et neurosciences cognitives portant sur l'analyse des trajectoires de réadaptation lors de la reprise de la conduite automobile après une lésion cérébrale acquise non évolutive. Afin d'aider les praticiens et leurs patients à rechercher les soins les plus appropriés en fonction des besoins de la personne ayant subi une lésion cérébrale acquise non évolutive, nous souhaitons favoriser un débat pluri-professionnel autour de l'observation de ces trajectoires de réadaptation. Il conviendra dans ce stage d'étudier comment les mécanismes cognitifs, les substrats cérébraux et les circuits anatomo-fonctionnels contribuent à déterminer des trajectoires de réadaptation. Un focus particulier sera porté sur les notions de contrôle cognitif et sur les habiletés métacognitives. Ce stage permettra de décrire comment se fait le retour à la conduite en fonction des différentes trajectoires de réadaptation observées. Les freins et les facilitateurs à la réadaptation seront identifiés. A partir de différentes sources de données de terrain, obtenues en partenariat avec les centres de rééducation fonctionnelle de la Région Rhône-Alpes (dossiers médicaux contenant les comptes rendus d'imagerie et autres informations cliniques, les résultats des évaluations cognitive et métacognitive et les résultats des évaluations pluri-professionnelles de la performance de conduite), les trajectoires de réadaptation seront identifiées. Les dossiers médicaux d'une quarantaine de patients seront étudiés en vue de mener une étude comparative²⁹ afin d'extraire les éléments ayant participé à la décision de retour à la conduite. Nous faisons l'hypothèse que les patients étant capables d'avoir une bonne estime de leurs capacités cognitives adopteront plus facilement des attitudes vertueuses durant le processus de réadaptation et durant les évaluations de conduite sur route et reprendront donc plus facilement la conduite automobile.

Les travaux réalisés au cours de ce stage pourront ensuite se poursuivre par une thèse afin d'étudier une possible harmonisation des modalités d'évaluation et de remédiation pour ces patients. Les recommandations de la HAS sont récentes et les modalités d'évaluations pour un retour à la conduite en toute sécurité restent à opérationnaliser et à mieux définir. Certains centres de rééducation ont mis au point des programmes d'évaluation combinant des tests neuropsychologiques et une évaluation des capacités de conduite. Dans la suite du travail de Master 2, une thèse permettrait de mener des études complémentaires afin : 1) de mieux comprendre les mécanismes cognitifs, physiologiques et métacognitifs impliqués dans le processus de reprise à la conduite en fonction des caractéristiques

²⁹ Ce type d'étude est considéré par la HAS comme à faible niveau de preuve ; les dernières recommandations n'étant formulées qu'à partir d'accords d'experts, ce stage permettra une première progression pour les professionnels de santé.

propres à chaque patient ayant repris l'activité de conduite et 2) d'avancer dans la mise en œuvre de recommandations HAS en proposant une meilleure démarche d'évaluation et en y intégrant les outils adaptés. Les « outils » les plus prédictifs d'un retour à la conduite en fonction du profil des patients pourraient être identifiés en croisant les données de santé objectives et subjectives et les résultats aux tests neuropsychologiques et aux évaluations de conduite. L'objectif de la thèse serait de contribuer, à terme, à proposer une démarche commune aux centres d'évaluation permettant de définir les critères scientifiques pour un retour à la conduite de patients cérébrolésés, ce travail devant être réalisé en répondant aux objectifs de sécurité routière et en accord avec les préconisations de la HAS.

Dans le cadre d'un stage complémentaire, la création de plaquettes d'information à destination des patients et des praticiens pourrait être envisagée. Trois à cinq thèmes pourraient être abordés : la réglementation concernant la reprise de la conduite automobile, le retentissement potentiel de la pathologie sur les capacités de conduite, le processus d'évaluation pluri-professionnelle de l'aptitude à la conduite, les possibilités de rééducation et de réentraînement, les alternatives à la conduite. Au niveau de la méthodologie, il conviendrait de conduire un travail bibliographique pour définir le contenu des brochures, un travail de conception de chaque fiche ou plaquette afin de définir le message donné et déterminer un appel à l'action. Les actions de conception graphique de la plaquette seraient dans un premier temps abordées très sommairement, ce travail pouvant être repris ultérieurement par le service communication de l'Ifsttar ou alors dans le cadre d'un stage complémentaire. Dans un second temps, des entretiens de groupe auprès des patients et des professionnels de santé pourraient être menés afin de tester ces plaquettes, d'évaluer leurs impacts potentiels et de proposer une version améliorée de ces plaquettes.

Le résultat majeur de ce travail est qu'il **n'existe toujours pas de preuve scientifique suffisante pour donner un avis d'aptitude ou d'inaptitude sans évaluation sur route**. Après plus de 70 ans de recherche sur cette question³⁰, aucune méthode suffisamment performante n'a pu être mise en évidence. Comme je le mentionne tout au long de ce mémoire, ceci atteste de la difficulté à évaluer la capacité d'adaptation des conducteurs. Ce résultat majeur devrait interpeller la DSCR sur les pratiques des commissions du permis de conduite et sur la nécessité d'engager une réflexion profonde sur cette question. Le second résultat important concerne la procédure suggérée dans les quatre arbres décisionnels présentés. **La HAS recommande une procédure hiérarchisée en quatre étapes (évaluation clinique, évaluation fonctionnelle, évaluation cognitive et évaluation sur route)**, l'objectif de chacune de ces étapes étant de rechercher une possible contre-indication à la conduite afin d'étudier la solution la plus adaptée pour y remédier. Afin d'éviter un possible conflit entre le médecin agréé et le médecin en charge du suivi du patient, il semblerait qu'un avis temporaire et/ou des comptes rendus d'examen soient transmis au médecin agréé pour avis d'aptitude ou d'inaptitude avant que l'avis définitif de compatibilité ou d'incompatibilité soit donné au patient. On constate ainsi que le parcours du patient est plus complexe que celui d'un conducteur présenté directement devant un médecin agréé. Ce point restera à approfondir afin d'éviter de pérenniser une procédure discriminatoire envers cette population. Par ailleurs, dans les premières années de mise en œuvre de ces recommandations de bonnes pratiques, il serait intéressant de suivre les avis donnés afin d'étudier leurs convergences et divergences.

Outre ces remarques générales sur ces recommandations, à leurs lectures, quatre pistes de travail me sont apparues. Après échange avec des professionnels de santé québécois, lors du premier examen suivi par un patient, plusieurs signes peuvent être observés à partir d'un examen physique préalable à

³⁰ A notre connaissance, les premiers travaux français remontent à 1938.

l'anamnèse (ils sont très bien détaillés dans le guide d'exercice du collège des médecins du Québec³¹). Ces connaissances pourraient être utilisées par la HAS pour **affiner l'évaluation clinique proposée**.

La grille d'évaluation préconisée pour l'épreuve sur route ne permet pas d'évaluer les autorégulations mises en œuvre par le conducteur alors que, dans notre communauté, un outil existe et est communément utilisé en recherche. Nous pouvons très rapidement produire un travail en vue **d'améliorer la méthode d'analyse de la performance de conduite pour l'évaluation sur route**. Mentionné dans le rapport HAS, le modèle de Michon (1985)³² décrit l'activité de conduite automobile comme un processus cognitif, basé sur 3 niveaux hiérarchiques - le niveau stratégique, le niveau tactique et le niveau opérationnel - qui reflètent différentes stratégies d'adaptation de la part du conducteur. La grille d'évaluation TRIP (pour Test Ride for Investigating Practical fitness to drive, Withaar et al., 2000) permet d'évaluer les régulations opérées par le conducteur à ces trois niveaux. Depuis la thèse de Maud Ranchet (2011), nous travaillons déjà avec une version française de cette grille. A très court terme, nous pourrions conduire un travail de validation de cet outil : nous pourrions proposer un travail de rétro-traduction, une analyse conjointe des études de fiabilité inter-observateurs recueillies par les chercheurs du laboratoire, une analyse de corrélation entre les deux méthodes complémentaires d'évaluation que nous utilisons (calcul des scores TRIP et calcul d'un score de pénalité) afin de mieux comprendre les discordances entre ces deux méthodes et définir si il est nécessaire de raffiner la TRIP. Par ailleurs, Maud Ranchet a constaté un taux de désaccords marqué entre les médecins et les évaluateurs sur route (Ranchet et al., 2015a&b ; Ranchet et al., 2016a&b), son expertise pourrait nous permettre de mieux comprendre l'origine de ce taux. Maud fait l'hypothèse d'une surestimation et d'une sous-estimation des capacités de conduite par le médecin, il serait intéressant de creuser cette piste. Au regard de l'expertise développée au laboratoire, il me semble que nous pourrions rapidement proposer des recherches visant à réduire les taux de désaccord entre les médecins, qu'ils soient généralistes ou spécialistes, et les évaluateurs sur route, qu'ils soient ergothérapeutes ou moniteurs d'auto-école spécialisée. Nous pourrions ainsi disposer rapidement d'un outil de cotation de mise en situation sur route qui soit plus performant que celui qui est recommandé par la HAS. Nous pourrions aussi formuler des recommandations à destination des évaluateurs afin qu'ils puissent faire la part des choses entre les mauvaises habitudes de conduite antérieures à la survenue des lésions, et les difficultés relevant des troubles cognitifs acquis. Comme mentionné dans le document HAS, la notion de parcours standardisé ne fait pas l'unanimité. Cette question devra être aussi retravaillée afin d'être capable de proposer une procédure d'évaluation des performances de conduite qui soit en adéquation avec les usages du véhicule qui seront fait par le patient ainsi le tester sur la majorité des difficultés qu'il pourra rencontrer.

Concernant l'évaluation cognitive, les travaux menés par le HAS et par le groupe de travail DSCR sur les test-psychotechniques (GT-DSCR) concordent sur plusieurs points. Ils soulignent l'importance de l'examen avec un neuropsychologue ou un psychologue. Dans l'arrêté et la circulaire relatifs à l'examen psychotechnique prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite, des recommandations de bonnes pratiques sont formulées. Au travers des échanges que j'entretiens avec le RESACCEL³³, je pourrai recueillir l'écho de professionnels pour vérifier que ces recommandations de bonnes pratiques soient partagées et ainsi valider ou améliorer ces recommandations. Concernant les tests cognitifs à utiliser lors de cet examen, à ce jour, aucun outil ne présente les qualités psychométriques requises et n'atteste d'une validité prédictive suffisante pour être recommandé, ceci

³¹ <http://www.cmq.org/publications-pdf/p-1-2007-03-01-fr-evaluation-medicale-aptitude-conduire.pdf>

³² Très souvent cité mais jamais référencé !

³³ Réseau régional de soins et d'accompagnement des personnes cérébrolésées en Rhône Alpes

fait aussi consensus. Le GT-DSCR a reconnu les bonnes qualités de l'UFOV³⁴ (test non mentionné par le travail HAS) et a demandé une traduction en français de ce test. L'échelle MOCA³⁵ a aussi été repérée par les deux groupes, cependant le GT-DSCR s'interroge sur l'utilisation de tests papier-crayons et de l'exploration des capacités d'abstraction et de langage auprès de tous les conducteurs. Une confrontation de ces outils aux réalités du terrain sera nécessaire. Dans les années à venir, l'Ifsttar sera en charge de donner un avis sur les tests psychotechniques développés par les éditeurs de test. Nous devons ainsi pouvoir participer activement à la production d'outils à utiliser dans ce contexte. La validité prédictive de ces tests pourra aussi être explorée afin de produire des études à plus fort niveaux de preuve. Le travail de concertation sur l'évaluation cognitive pourra aussi se poursuivre dans le cadre d'un nouveau groupe de travail sur la formation des psychologues en charge des examens psychotechniques du permis de conduire. Ce groupe devrait se réunir dès septembre 2016, il permettra ainsi de poursuivre les échanges interprofessionnels sur cette question.

La troisième piste de recherche intéressante concerne **l'évaluation de la personnalité, la conscience des troubles et la propension à changer son comportement**. Le GT-DSCR a repéré un outil intéressant pour explorer l'influence de dimensions de personnalité sur les comportements adoptés au volant : le DDDI³⁶ dont une version française a été publiée par Richer & Bergeron (2012). Une procédure prometteuse d'évaluation de la conscience des troubles cognitifs a été développée dans le projet Safe Move. En croisant les résultats obtenus à l'aide de deux tests neuropsychologiques (TMTA&B et test des codes) et à l'aide d'un questionnaire en 4 questions, nous avons pu identifier des personnes présentant un biais d'évaluation de leurs capacités cognitives (surestimation versus sous-estimation). Cette procédure reste à améliorer et valider pour explorer d'avantage cette notion de conscience des troubles et son influence sur la performance de conduite. Concernant la capacité à évaluer la propension à changer son comportement (afin que les patients s'adaptent à leurs lésions ou les conducteurs âgés s'adaptent à leur vieillissement), un modèle théorique permet d'éclairer le développement d'outils qui pourront à terme permettre d'évaluer les différents stades auxquels se trouvent le patient ou la personne âgée dans leur processus d'adoption de comportements de précaution (Hassan et al., 2015). Le Projet DSCR Cosera nous permettra d'avancer sur cette question.

Les **moniteurs d'auto-école** représentent un second groupe d'acteurs concernés par cette problématique. Leur principale mission consiste à préparer les candidats à l'examen du permis de conduire. Très peu d'entre eux sont formés pour permettre l'accès au permis de conduire aux personnes présentant un handicap ou des troubles neurologiques moins sévères. Par ailleurs, durant leur carrière, ils sensibilisent les conducteurs aux règles de prudence et peuvent parfois être interpellés par des conducteurs souhaitant un rafraîchissement de leurs connaissances. Les moniteurs font le constat qu'un nombre de plus en plus important de personnes âgées s'adressent à eux pour des conseils. Une concertation avec ces acteurs pourrait permettre d'engager une réflexion collective sur l'analyse des compétences de conduite des seniors et sur la mise en place du permis de conduire avec restriction. Nous pourrions aussi proposer des interventions dans les modules de formation des moniteurs d'auto-écoles.

Afin de contribuer au développement d'une route aidante et intuitive, des échanges avec les **gestionnaires des routes et l'industrie des équipements de la route** pourraient aussi être programmés. En octobre 2014, de premiers échanges avaient eu lieu lors du congrès de l'IDRRIM tenu à Lyon. Nous avons constaté qu'il ne fallait pas forcément chercher l'efficacité technique au meilleur cout mais prendre en compte les demandes particulières des seniors lors de la conception et de la

³⁴ Usefull Field Of View

³⁵ MONTreal Cognitive Assessment

³⁶ Dula Dangerous Driving Index

maintenance de nos routes. Il était aussi nécessaire de confronter les solutions techniques possibles et de tester les solutions retenues auprès d'usagers âgés (comme dans le cas des contre-mesures à la prise de voie à contre sens). Ces échanges se sont poursuivis en 2016 lors des journées techniques route à Nantes.

Il sera aussi important de développer des collaborations avec **nos partenaires du réseau scientifique et technique du MEEM**. La loi d'adaptation de la société au vieillissement incite les collectivités territoriales à tenir compte du vieillissement dans leurs politiques et dans l'élaboration des documents d'urbanisme. Il sera donc important d'échanger nos connaissances respectives afin de pouvoir créer des environnements qui permettent aux personnes âgées de rester mobiles le plus longtemps possible (des recommandations sont formulées dans la partie 5.1 de ce mémoire). Il conviendra aussi de sécuriser les déplacements routiers et pédestres par des micro-adaptations au niveau local en encourageant la participation de tous les acteurs concernés, comme par exemple les commerçants. De très nombreux terrains d'expérimentations pourraient être proposés en partenariat avec le Cerema. Il serait aussi nécessaire d'intensifier les relations avec les réseaux d'acteurs locaux de sécurité routière afin d'améliorer notre ancrage régional et pouvoir développer, tester et évaluer de nouveaux dispositifs ou de nouvelles interventions destinées à améliorer la mobilité des personnes âgées. A titre d'exemple, dans le plan national d'action pour les mobilités actives, 25 mesures sont formulées pour encourager le vélo et la marche. Il conviendra d'étudier si ces mesures ne sont pas en défaveur de la sécurité de nos concitoyens âgés.

En réponse à loi d'adaptation de la société au vieillissement, nous devons aussi apporter notre soutien à la mise en place de **gerontopôles** qui auront pour mission de mieux connaître les répartitions locales par âge des populations et ainsi adapter les réponses. Les idées de recherche visant à promouvoir le développement d'environnements capacitants formulées dans ce mémoire (cf. page 52) pourraient être développées en partenariat avec les acteurs de ces gerontopôles mais aussi des acteurs des maisons départementales de l'autonomie et des maisons locales de la mobilité.

Au niveau international, ma mobilité au Québec, m'a aussi permis d'initier une collaboration avec Jamie Dow et son équipe (Evelyne Cazalais, Nathalie Drouin, Marie-Line Bernard) de la **Société d'Assurance Automobile du Québec (SAAQ)**. Nous avons échangé afin de confronter les pratiques d'accompagnement des conducteurs âgés en France et au Québec. La SAAQ pilote un programme de suivi de l'aptitude à la conduite depuis plusieurs années et constate que, chaque année, environ 4 000 conducteurs perdent le privilège de conduire (environ 800 sont déclarés inaptes suite à un test sur route et les 3200 conducteurs restant renoncent lorsque l'on demande des examens complémentaires). La SAAQ ne propose pas d'aide particulière pour que la mobilité de ces personnes ne soit pas subitement restreinte et que ceci n'affecte pas leur qualité de vie et leur autonomie. Nous avons convenu de mener, en partenariat avec Mélanie Levasseur, un travail sur le développement d'une intervention à destination de ces personnes.

5.1.3 Développer des collaborations avec les acteurs qui contribuent à maintenir les seniors en bonne santé

Favoriser la participation sociale en contribuant à la promotion de l'initiative « Villes amies des aînés »

Le réseau « Villes amies des aînés » mis en place sous l'impulsion de l'OMS, invite les municipalités et les intercommunalités à une réflexion globale sur le vieillissement en incitant à changer le regard porté sur l'âge afin d'améliorer le bien-être et la qualité de vie des seniors. Une réflexion sur la création d'un environnement propice au vieillissement réussi est menée au travers de travaux portant sur l'environnement bâti (habitat, espaces extérieurs et bâtiments, transport et mobilité) et sur l'environnement social (information et communication ; culture et loisirs ; participation citoyenne et

emploi ; autonomie, services et soins ; lien social et solidarité). En France, 22 villes ont obtenu ce label en mai 2015. Dans ces villes, les éléments clés, à savoir les politiques, les services et les structures liées à des environnements physiques et sociaux des communautés, doivent être conçus pour les seniors afin de les aider à vivre en toute sécurité, à rester en bonne santé et impliqués dans leur communauté.

En 2015, lors de ma mobilité au centre de recherche sur le vieillissement de l'Université de Sherbrooke, j'ai eu l'opportunité d'être intégrée, dès sa phase de conception, à un projet visant à mieux explorer les bénéfices en santé dans les Villes amies des aînés. Grâce à l'étude longitudinale canadienne sur le vieillissement³⁷, Mélanie Levasseur dispose d'un outil exceptionnel pour mener à bien ce travail. Ce projet intitulé "Capturing how age-friendly communities foster positive health, social participation and health equity: Towards identification of key components and processes that promote population health in aging Canadians" va, à partir des données de la cohorte, chercher à identifier les composants et processus clés du dispositif villes amies des aînés. Ce projet a été accepté pour financement par les instituts de recherche en santé du Canada (CIHR-IRSC) en mars 2016 et, dans le cadre d'un partenariat établi, j'aurai le plaisir de suivre ses avancées et de contribuer à la valorisation de ses résultats. Un premier article présentant la méthodologie mise en œuvre a été soumis fin mai 2016 à la revue BMC Public Health (Levasseur et al., soumis³⁸).

Afin de pouvoir entrer dans la communauté française des villes amies des aînés, en vue de mieux essayer les connaissances acquises dans ce projet, voire aussi faire partie des instigateurs de nouveaux projets français sur cette question, j'ai pris des contacts avec la Licence Qua2vie de l'université de Lille et l'université Lyon 2 afin d'encadrer deux étudiants. Le premier stage (Saidi, 2016) visait à élaborer un outil de mesure de la participation sociale, de la qualité de vie et de la mobilité chez les personnes âgées. Un questionnaire mesurant les trois dimensions a été élaboré. Pour mesurer la participation sociale, l'Indice de Participation Sociale (IPS, Levasseur., 2012) et l'AAI-PS (sous dimension de l'Active Aging Index) ont été utilisés. Pour mesurer la qualité de vie, la WHOQOL-Bref a été utilisée et, pour la mobilité, un outil a été créé en combinant des questions venant de différentes enquêtes. Afin de vérifier la validité du questionnaire, un protocole expérimental composé d'une grille d'observation, d'un entretien bilan et d'un entretien-semi-dirigé ont été élaborés. 41 participants âgés de 67 à 102 ans ont répondu au questionnaire. Cette étude a permis de bonifier notre questionnaire. Aline Alauzet, intéressée par cette initiative OMS et ayant récemment proposé une enquête auprès des seniors Brondillants, a participé au co-encadrement de ce stage. En parallèle, un second stage en entreprise (Benard, 2016) s'est déroulé au « Pass Senior » de la Marie de Lille. Ce travail de stage visait à participer au diagnostic préalable pour l'obtention du label " Ville Amie des Aînés ". Ce stage avait comme objectif de « connaître les besoins et les attentes des seniors en matière de transports urbains ». La première étape était de faire un état des lieux de l'offre de transport public et privé (métros, bus, navettes, réseaux solidaires, taxis, etc.) afin d'élaborer un répertoire permettant aux personnes âgées de trouver le service le mieux adapté à leur situation. La seconde étape consistait à mener une enquête, à l'aide d'un questionnaire, auprès des personnes inscrites dans le Réseau Pass Senior afin d'évaluer l'utilisation des transports par ce public et de mieux comprendre les difficultés rencontrées. La dernière étape a été la réalisation de deux entretiens de groupe, qui avaient pour

³⁷ Grande enquête longitudinale qui suit depuis une vingtaine d'année environ 50,000 hommes et femmes ayant entre 45 and 85 ans.

³⁸ Levasseur, L., Dubois, M.-F., Généreux, M., Menec, V., Raina, P., Paris, M., Roy, M., Gabaude, C., Couturier, Y., St-Pierre, C. (submitted). Capturing how age-friendly communities foster positive health, social participation and health equity: Towards identification of key components and processes that promote population health in aging Canadians. BMC Public Health.

objectif de cerner ce qui pouvait faciliter ou empêcher les déplacements des participants. Un étudiant de Master en Sciences Politiques va poursuivre ce travail.

Promouvoir la conception d'environnements capacitants

Une des dimensions explorées dans le calcul de l'index de vieillissement actif est l'existence d'environnements capacitants. Afin de développer une palette d'actions plus complète, une réflexion sur leur développement doit aussi être engagée d'autant que l'apport de la psycho-ergonomie au développement de tels environnements peut être déterminant. Pierre Falzon lors des journées de printemps du GDR PsychoErgo a présenté un plaidoyer pour une ergonomie constructive dans lequel le concept de médecine constructive était central. Cette approche se focalise non seulement sur la prévention des maladies et des accidents mais aussi sur la réalisation de la santé avec l'homme au cœur du système. La santé est ainsi vue comme un processus de construction et avec le temps on est obligé de s'adapter et de développer des stratégies de compensation. La santé cognitive doit permettre aux individus de réussir et de progresser à tout âge. Afin de maintenir les personnes âgées dans un processus de santé constructive, il est nécessaire de leur proposer de vivre dans un environnement capacitant.

A partir des travaux de deux prix Nobel d'économie, deux modèles possibles existent pour réaliser cela : la théorie du capital humain et des organisations apprenantes qui s'applique plutôt aux organisations dans le monde éducatif et professionnel (Gary Becker, 1992) ; et les concepts de capabilité issus de la théorie du choix social) et de développement humain qui peuvent très facilement s'appliquer à une réflexion sur le processus de vieillissement (Amartya Sen, 1998). Plus qu'une théorie économique, c'est une conception de la liberté. Le concept de base, « les capacités », correspond à l'ensemble des fonctionnements humains disponibles à un individu. Il s'agit de la possibilité effective qu'un individu a de choisir diverses combinaisons de fonctionnements, autrement dit une évaluation de la liberté dont il jouit effectivement, qu'il en fasse usage ou non. La liberté est la possession des capacités permettant à l'individu de faire des choix dans tous les aspects de sa vie. Bien être et liberté sont le résultat des choix et non seulement de l'existence des options. Ce modèle permet de comprendre les compromis fait par les individus, quelle que soit l'activité envisagée et le niveau de développement du pays. La notion de capabilité correspond au cumul des capacités et des possibilités réelles qui s'offrent à l'individu, cette notion est proche d'une notion utilisée plus récemment : le pouvoir d'agir. Les savoirs et savoir-faire d'un individu se construisent dans l'exercice de l'activité et les potentialités de l'individu supposent un environnement favorable. D'où la nécessité de penser collectivement des environnements capacitants.

Une collaboration sur des sujets ciblés en lien avec le développement d'environnements capacitants dans les transports et les villes pourrait être initiée avec certains membres du réseau scientifique et technique du ministère de l'environnement. Le Cerema cherche par exemple à définir ses priorités d'action pour participer au développement d'une route apaisée et sécurisée pour les personnes âgées. Au regard des connaissances acquises sur la mobilité des personnes âgées et le développement d'environnement capacitants, nous pourrions les aider à prioriser leurs actions (en identifiant les endroits où un grand nombre de personnes âgées fragiles résident et en suggérant au cas par cas des aménagements autour de ces bassins de vie). Nous pourrions accompagner le Cerema dans des expérimentations de terrain visant à évaluer les bénéfices des aménagements proposés.

Aux Etats-Unis, l'institut de politique publique a mis en œuvre une action très innovante visant à permettre aux futurs résidents âgés d'une ville de choisir leur lieu de vie en fonction d'un indice d'habitabilité des quartiers³⁹. Au préalable, des questionnaires ont été proposés à un grand nombre

³⁹ https://livabilityindex.aarp.org/?cmp=LVABLIDX_MAR25_015

de personnes âgées afin de définir les critères d'habitabilité de leurs quartiers en observant leurs influences sur leur qualité de vie. Plusieurs dimensions ont été observées : le logement, le transport, les caractéristiques du quartier, l'environnement, la santé, les opportunités offertes et l'engagement civique et social des résidents. Sur la base de ces travaux, il est envisageable de mettre en œuvre de nouvelles actions de recherche. Nous pourrions ainsi repérer les quartiers et des zones favorables au vieillissement des personnes très peu mobiles en recherchant par exemple dans un rayon de 200 m la présence de commerces et de services de proximité, de transports en commun, d'équipements publics et d'espaces verts. Des cartographies pourraient être élaborées et proposées aux personnes âgées souhaitant anticiper sur leur propre vieillissement en prévoyant de changer de lieu de résidence. A plus court terme, les connaissances acquises dans ce projet pourraient être utilisées pour élaborer certains documents d'urbanisme sous l'angle de l'habitat, de la mobilité et des services afin d'éviter le cumul de difficultés pour nos aînés.

5.2 Mieux prévenir les effets négatifs du vieillissement

Dans la partie bilan de ce mémoire d'HDR, les effets positifs du vieillissement ont été mis en lumière, en étudiant plus particulièrement les stratégies d'évitement de situations de conduite difficile. Afin de poursuivre ces travaux, nous avons inventorié plus largement les stratégies d'adaptation que les conducteurs âgés pouvaient mettre en œuvre et nous avons identifié sept leviers sur lesquels nous pourrions agir pour réduire le risque d'accident chez les séniors et les aider à préserver leur mobilité.

5.2.1 Inventorier les stratégies d'adaptation au vieillissement et les déterminants de leur adoption

Cette étude, dont la valorisation est en cours, visait à **identifier les facilitateurs et les freins à l'adoption de stratégies d'adaptation** par les conducteurs âgés (à savoir, les moyens qu'ils utilisent pour adapter leur conduite lorsque les capacités se réduisent) en vue d'optimiser leurs déplacements. Un travail exploratoire en recherche clinique qualitative a été mené auprès de québécois (11 conducteurs âgés, 7 parents et 14 professionnels de conduite). Cinq entretiens de groupe ont été audio enregistrés, transcrits et analysés. Parmi les facilitateurs pour l'utilisation de stratégies adaptatives, on retrouve : être une femme; percevoir les dangers; reconnaître l'utilité des stratégies et des capacités lorsque l'on est diminué; présenter un handicap ou de l'inconfort lors de la conduite; vivre des situations de conduite complexes; recevoir de l'aide des parents et des services de professionnels; avoir d'autres options de transport. Les obstacles consistaient à : ne pas connaître les stratégies adaptatives; être fier; manquer d'autocritique; être entouré par des parents et des médecins réticents à intervenir; trouver l'utilisation de stratégies d'adaptation trop coûteuse ; être dépendant de l'automobilité ; trouver l'utilisation d'autres options de transport complexe ; être éloigné des installations et des services. Ces travaux soulignent le besoin, lorsque ceci est nécessaire, de sensibiliser davantage les conducteurs âgés sur les changements liés à l'âge, les aides qui leurs sont proposées par l'état et les connaissances relatives à ces stratégies. Pour favoriser le recours à l'utilisation des stratégies d'adaptation, des campagnes d'information peuvent être organisées (via la télévision, la radio, les journaux et des séances publiques d'information). En outre, pour soutenir les conducteurs âgés réfractaires à l'idée de changer leurs comportements ou habitudes de conduite, les résultats ont démontré qu'il est important d'impliquer leurs parents et les professionnels. Tout en favorisant la conduite sécuritaire et la prévention des collisions et de blessures sur la route, les connaissances sur les facilitateurs, les obstacles et les besoins de l'utilisation de stratégies de conduite adaptative pourraient finalement permettre aux aînés d'optimiser leur mobilité dans la communauté.

Ce travail a été valorisé par la rédaction d'un article en révision (Levasseur et al., soumis⁴⁰). Dans des travaux futurs, la méthode utilisée pourra être transposée pour étudier les barrières et facilitateurs à l'utilisation de stratégies adaptatives dans l'utilisation d'autres moyens de transport (transports en commun, vélo ou bien la marche).

5.2.2 Identifier les leviers pour agir sur les comportements à risque des seniors

L'adaptation, cette faculté humaine qui permet un ajustement fonctionnel de l'être vivant à son milieu, est la vraie force de l'être humain. Cette notion est au cœur des théories de l'évolution et, c'est grâce à ses capacités d'adaptation que l'être humain a survécu jusqu'à aujourd'hui et qu'il survivra encore demain. Lorsque l'on cherche à identifier des leviers pour agir sur les comportements des conducteurs, il est indispensable de disposer de connaissances sur les mécanismes qui permettent cette adaptation. En **synthèse de la partie bilan de ce mémoire d'HDR**, nous avons vu que l'activité de conduite sous son apparente simplicité était en fait très complexe. Au niveau cognitif, le conducteur doit constamment adapter ses stratégies cognitives et ses modes de contrôle cognitif. Les tâches à réaliser peuvent être concurrentes, interrompues, suspendues, menées en alternance ou bien reprises, elles ont cependant une caractéristique commune : elles sont toutes orientées vers un but. Le conducteur est donc appelé à réviser ses buts au cours de l'activité (hiérarchisation et redéfinition des priorités). La conduite automobile est une activité qui engage non seulement la sécurité du conducteur mais aussi celle d'autrui. Cette activité présente un fort rapport au risque et le conducteur doit gérer cette prise de risque. La conduite automobile est aussi une activité experte et le conducteur dispose d'un stock de connaissances dont la mobilisation implicite peut être d'une efficacité surprenante. L'expertise permet aussi la mise en place de routines qui contribuent à préserver les compétences par la pratique. Pour s'adapter, le conducteur doit donc posséder un certain nombre de compétences qui sont la résultante d'aptitude, de savoirs, de savoir-faire plus ou moins complexes, d'habiletés, d'attitudes ou d'intentions conscientes ou non conscientes.

Dans la partie projet scientifique de ce mémoire d'HDR, je souhaite tracer les grandes lignes qui permettent d'**identifier des leviers pour aider le conducteur à mieux adapter son comportement** lorsque ceci est nécessaire. Nous avons tous été un jour adolescent et nous savons combien cette période délicate nous façonne et, c'est à cette période que l'on comprend que le comportement peut être régulé. Par ailleurs, l'environnement dans lequel nous évoluons contribue aussi à notre développement en agissant sur le sentiment de sur-confiance, le rapport au risque et le respect des règles et d'autrui. Pour aborder cette question dans une approche holistique, il est intéressant de confronter les théories de l'action située et de l'action raisonnée. Dans cette dernière théorie, le comportement est déterminé par les intentions et modéré par le contrôle que l'on exerce. L'action raisonnée dépend du contrôle comportemental perçu, de la norme subjective (attentes sociales perçues et la pression sociale qui s'exerce) et des attitudes envers le comportement. Sur ces trois dimensions, le poids des croyances est fort et tout cela est médié par des facteurs environnementaux. Néanmoins, l'intention est le meilleur prédicteur de l'adoption d'un comportement. Une étape clé consiste donc à faire adhérer les conducteurs à l'idée qu'à chaque instant il faut adapter son comportement à ce que l'on vit (gérer un épisode furtif de colère par exemple ou alors gérer une période de préoccupations intenses suite à la maladie ou au deuil d'un proche). Dans les sections qui

⁴⁰ Levasseur, M., Gabaude, C., Saint-Pierre, C., Bédard, M. (submitted). Facilitators, Barriers and Needs in the Use of Adaptive Driving Strategies to Enhance Older Drivers' Mobility: Importance of Openness, Perceptions, Knowledge and Support. Transportation research part F.

suivent nous allons détailler comment nous envisageons d'actionner les sept leviers que nous avons identifiés.

Comprendre comment le changement de comportement opère

Deux principaux modèles théoriques ont été développés autour de la notion de changement de comportements : le modèle transthéorique de Prochaska & DiClemente (1982) et le modèle du processus d'adoption du comportement de précaution (PAPM⁴¹, Weinstein, 1988). A partir de ces travaux, plusieurs auteurs ont proposé des adaptations de ces modèles pour mieux répondre aux spécificités des conducteurs âgés (Rudman et al., 2006 ; Kowalski et al., 2014 ; Hassan et al., 2015).

Hassan et collaborateurs (2015), ont élaboré un modèle très complet détaillant sept stades d'évolution dans la trajectoire de vieillissement du conducteur. Ce modèle, résumant l'influence de différents facteurs aux différents stades d'évolution, permet de mieux comprendre le processus d'auto-régulation qui agit en conduite automobile. Un élément essentiel dans ce modèle est l'importance des rétroactions perçues par le conducteur et leurs attributions (locus de contrôle interne ou externe) et de nouvelles pistes s'ouvrent pour comprendre l'influence de ces attributions sur les mécanismes d'autorégulation ; ces rétroactions facilitent la prise de conscience de ses déficits, étape première pour engager un changement de comportement (Koppel et al. 2015).

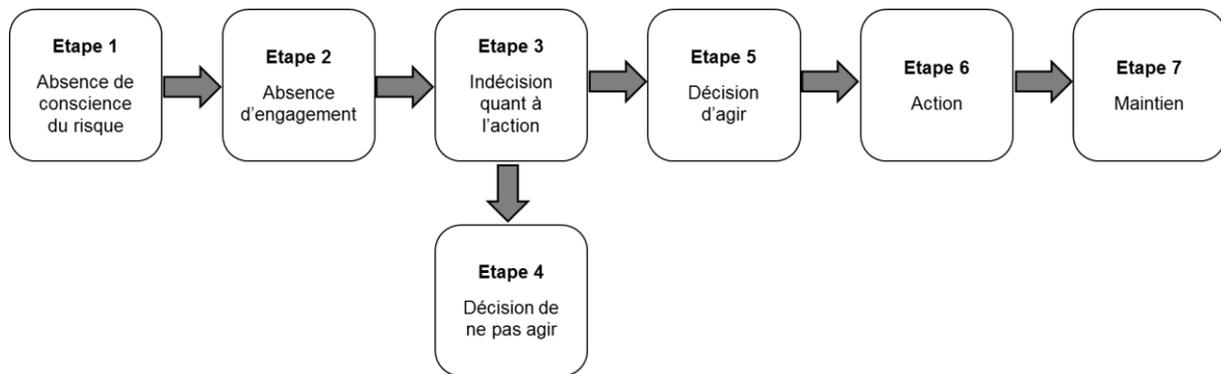


Figure 16 : Représentation des différentes étapes du modèle du processus d'adoption du comportement de précaution, d'après Weinstein, Sandman, & Blalock, 2008.

En effet, dans cette adaptation du PAPM, trois étapes majeures ont été mises en évidence : l'engagement (jusqu'à l'étape 3), la décision d'agir (de l'étape 3 à l'étape 5), et l'action (étapes 6 et 7).

1. La prise de conscience est une condition indispensable à l'**engagement** du conducteur dans le processus de changement de son comportement. Cette prise de conscience des changements est permise par : i) des facteurs intra-personnels (par exemple : leur état de santé, la perception de leurs propres capacités, les connaissances générales sur les problèmes de sécurité routière des seniors, etc.) ; ii) des facteurs interpersonnels, tels que les feedbacks sur les déclinés liés à l'âge et leurs répercussions sur leurs capacités de conduite ; ou encore iii) les accidents que les conducteurs ont pu avoir dans le passé.
2. La **décision d'agir** est liée aux croyances et attentes des seniors vis-à-vis de leur conduite future. Certains conducteurs bâtissent leurs attentes vis-à-vis de la conduite d'après l'observation des personnes de leur entourage qui réduisent la fréquence et l'étendue de leurs déplacements. La décision d'agir est également liée au fait que les conducteurs sont conscients de l'importance de la conduite dans le maintien de leur indépendance et de leur qualité de vie. La conduite automobile est essentielle pour l'identité et le bien-être de l'individu, ce n'est pas seulement un

⁴¹ Precaution Adoption Process Model

moyen de se déplacer. Enfin, la décision d'agir repose sur les niveaux de confiance des seniors en leur conduite et de confort au volant.

3. L'**action** comporte deux types d'adaptations comportementales : la modification de l'activité de conduite (avec mise en place des stratégies d'autorégulation pour permettre le maintien de cette activité) d'une part ; et l'arrêt de la conduite d'autre part. Certains éléments facilitateurs et certaines barrières entrent en compte dans le choix du comportement adopté (maintien ou arrêt de la conduite), parmi lesquels : 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 assistances technologiques (par exemple : système de détection d'angle mort, système d'assistance au changement de voie, etc.).

Explorer le rôle de la conscience du risque associé aux comportements de conduite

Afin de mieux comprendre les stratégies d'autorégulation mises en œuvre par les conducteurs âgés et leurs limites, il y a 5 ans, un projet collaboratif a été élaboré et proposé pour financement à l'agence nationale de la recherche (ANR). Il avait pour objectif d'**aider les conducteurs les plus âgés à maintenir une mobilité sereine et à prendre conscience du possible déclin de leurs performances cognitives** afin de mettre en place une régulation de leur conduite adaptée. Le projet SAFE MOVE a été accepté pour financement. Il s'agissait d'un projet de recherche industrielle coordonné par Claude Marin-Lamellet, directeur de recherche Ifsttar. Il a été mené en collaboration avec CONTINENTAL, PSA, OKTAL, ainsi que des laboratoires Ifsttar Umrestte, Ifsttar Lepsis, l'USR CNRS- U Bordeaux Sanpsy et l'UMR INSERM U1075 de Caen Comète. Le projet a commencé en Décembre 2011 et s'est terminé fin 2015. La valorisation des résultats obtenus est en cours.

L'hypothèse de SAFE MOVE est qu'une bonne auto-estimation de ses capacités cognitives est nécessaire pour adapter ses habitudes de conduite aux changements liés au vieillissement. Si certains conducteurs prennent conscience de la réduction de leurs performances cognitives et régulent leur activité de conduite de façon adaptée, d'autres n'en sont pas capables. Ils surestiment leurs capacités et conduisent d'une manière qui peut dépasser leurs capacités réelles. SAFE MOVE avait comme objectifs d'étudier : les liens entre l'auto-estimation des capacités cognitives et de conduite des personnes âgées, l'impact des programmes de stimulations cognitives accompagnées ou non de séances de conduite sur simulateur et enfin l'apport des technologies embarquées de type ADAS permettant le monitoring de l'activité du conducteur. Plusieurs avancées méthodologiques importantes ont été réalisées à l'occasion de ce projet :

- Une cohorte de 1204 conducteurs âgés de plus de 70 ans, avec un recueil initial très complet grâce à des entretiens en face à face avec un psychologue et un suivi à deux ans par voie postale. Ce travail a été coordonné par Sylviane Lafont de l'Ifsttar.
- Une expérimentation sur route avec 145 conducteurs visant à déterminer trois profils de conducteurs : ceux qui surestiment, sous-estiment ou estiment correctement leurs capacités cognitives et leurs capacités de conduite à partir d'une double évaluation objective de leur performance de conduite (moniteur auto-école et observateur dans le véhicule). Ce travail a été coordonné par Laurence Paire-Ficout de l'Ifsttar, plus de la moitié des passations a été effectuée dans cette tâche et la seconde moitié dans la tâche suivante.
- L'évaluation de l'impact d'un programme d'entraînement cognitif pur comparé à un entraînement cognitif associé à des exercices sur simulateur auprès d'une centaine de conducteurs de 70 ans et plus surestimant ou sous-estimant leurs capacités cognitives. J'ai eu le plaisir de coordonner ce travail qui a été mené dans le cadre de la thèse de Marion Hay, thèse soutenue en février 2016 (la poursuite de ce travail est détaillée dans la partie « Intervenir en faveur de l'agir expressif, page 59).

- Le développement de fonctions de monitoring basé sur les données collectées à bord d'un véhicule instrumenté immergé dans le trafic, auprès d'un panel de 76 conducteurs âgés surestimant et sous-estimant leurs capacités cognitives. Cette tâche a donné lieu au développement de deux démonstrateurs, l'un sur simulateur de conduite et l'autre sur véhicule. Ce travail a été coordonné par Thierry Bellet de l'Ifsttar.

Les résultats obtenus ont confirmé que l'auto-estimation cognitive était déterminée par des variables de personnalité, de genre, de mode de vie et qu'elle était bien reliée à l'auto-estimation de la performance de conduite. Ce projet a aussi été un moment de réflexion collective pour commencer à proposer des interventions qui contribuent au développement des aptitudes des seniors. Nous avons souhaité développer des interventions qui mettent les personnes âgées en capacités de continuer à conduire le plus longtemps possible.

En rédigeant ce mémoire d'HDR, je m'aperçois a posteriori que nous avons formulé des travaux qui répondent aux trois formes d'agir précédemment évoquées : l'agir instrumental (basé sur des rationalités cognitives par rapport aux buts visés), l'agir moral (guidé par des rationalités sociales) et l'agir expressif (relatif à la conscience de soi). Pour ces trois formes d'agir, dans les sections suivantes, je vais exposer des pistes d'intervention. Il est probable que le chemin vers le développement d'un continuum d'intervention⁴² soit semé d'embûches mais un élément me motive particulièrement, celui de savoir que les actions engagées se déploient simultanément dans les trois mondes (Dejours, 2014).

Intervenir en faveur de l'agir instrumental

Dans le projet Safe Move, au travers du questionnaire complet sur les habitudes de conduite, les usages de la voiture et la collecte de variables sociodémographique, nous avons cherché à comprendre les déterminants d'une régulation de l'activité de conduite chez les conducteurs âgés mais nous avons aussi aidé les participants de la cohorte à **s'interroger sur les comportements d'autorégulation adoptés**. Par notre approche, nous les avons menés à **réfléchir implicitement** sur leurs agir instrumentaux et ceci aura possiblement eu un effet sur les buts visés par les participants. Il conviendrait de vérifier cette hypothèse dans des travaux ultérieurs.

Thierry Bellet et Jean-Christophe Paris ont mené des travaux complémentaires afin de pouvoir spécifier des dispositifs d'assistance à la conduite adaptés aux besoins particuliers des conducteurs seniors. Ils ont utilisé une démarche en trois étapes (la définition des attentes des conducteurs âgés en matière de fonctions d'assistance, l'observation instrumentée en situation réelle de conduite de conducteurs âgés, la spécification, la conception et le développement de démonstrateurs de fonctions d'assistance pour le seniors sur simulateur et sur véhicule réel).

Parmi les 22 dispositifs d'assistance abordés durant des entretiens de groupe, **l'aide à la navigation, l'aide au contrôle et à la régulation de la vitesse, l'assistance au changement de voie à l'insertion sur voie rapide et l'aide au Tourne-à-Gauche** ont été les dispositifs d'assistance jugés les plus utiles, ils **répondent aux attentes des participants**. Les personnes faisant partie du groupe qui estimait correctement leurs capacités cognitives ont exprimé le moins fort besoin en matière d'assistance et, à l'encontre des hypothèses formulées par l'équipe, la plus forte demande d'aide émanait des personnes qui surestimaient leurs capacités cognitives. Les conductrices ont jugé plus difficiles les manœuvres de changement de voie, de franchissement d'intersections (incluant la réalisation de Tourne-à-Gauche), ou d'insertion sur voie rapide. Il conviendrait de savoir si leurs attentes en matière d'assistance sont plus fortes pour ces situations particulières.

⁴² visant à aider les personnes âgées à adapter leurs comportements

Les observations ont été réalisées sur un parcours standardisé, à l'aide du véhicule instrumenté du Lescot en présence d'un moniteur d'auto-école et d'un observateur (le moniteur assurant la sécurité de l'utilisateur et une évaluation globale de ses performances alors que l'observateur remplissait tout au long du parcours une grille d'analyse de l'activité). Cette démarche nous a permis de mieux comprendre les agir instrumentaux des participants, d'établir des chroniques d'activité et d'identifier les défaillances, erreurs ou fautes afin d'envisager les différentes actions correctives à mettre en œuvre. Dans le travail mené par Thierry Bellet, en complément de ces données, le participant était invité, une fois la séance de conduite achevée, à examiner certaines séquences de l'enregistrement vidéo collecté durant la phase de conduite dans le but de réaliser un entretien d'explicitation basé sur la méthode d'auto-confrontation.

La troisième phase du travail mené par cette équipe a permis, à partir des défaillances identifiées dans la littérature et constatées auprès des conducteurs âgés, de spécifier et de concevoir trois fonctions d'assistance (la détection d'angle mort, l'assistance au changement de voie et insertion, l'assistance à la gestion d'intersection). Des tests sur simulateurs et sur route ont permis de démontrer un plus fort intérêt des conducteurs âgés pour les deux premières fonctions d'assistance.

Intervenir en faveur de l'agir moral

Bien qu'il existe de nombreuses études sur les effets de la personnalité, des attitudes et des comportements sur le risque d'accident ou d'infraction des jeunes conducteurs, peu d'études de ce type ont été menées auprès des conducteurs âgés. Des travaux récents, indiquent que les modèles théoriques utilisés pour étudier les conduites à risque des jeunes (Ulberg & Rundmo, 2003) peuvent s'appliquer aux conducteurs âgés et être utilisés pour identifier de nouvelles interventions (Lucidi et al., 2014). En effet, même pour les conducteurs âgés, les traits de personnalité (tendances à l'excitation, l'hostilité et l'anxiété et le rapport à la règle) sont de bons prédicteurs des infractions volontaires et involontaires, des erreurs et des inattentions. En explorant les capacités d'autorégulation des conducteurs, nous avons aussi montré que l'auto-évaluation de ses capacités cognitives (vitesse de traitement et attention) était le meilleur prédicteur de la mise en œuvre de stratégies d'adaptation chez les personnes âgées (Gabaude et al., 2010). Il convient donc de poursuivre ces travaux afin d'explorer de nouveaux facteurs impactant les régulations stratégiques opérées par les conducteurs âgés.

Les riches données collectées dans ce projet seront valorisées dans les mois à venir. Une communication a récemment été acceptée pour le prochain congrès annuel de la Société Gérontologique d'Amérique (GSA) qui se tiendra à la Nouvelle-Orléans en novembre 2016. Nous allons chercher à **identifier les déterminants des erreurs survenues en conduite automobile**. En effet, nous ne savons pas dans quelle mesure, la personnalité, les déficits dans certains domaines cognitifs, et l'auto-évaluation des capacités cognitives et de conduite contribuent à la sécurité des conducteurs âgés lorsqu'ils conduisent. Afin de mieux comprendre les erreurs commises par les personnes de 70 ans et plus, une évaluation cognitive subjective et objective et un test sur route ont été menés. Nous avons supposé que les conducteurs surestimant leurs propres capacités commettront plus d'erreurs de conduite. 145 conducteurs âgés (moyenne d'âge = $76 \pm 4,1$) ont réalisé une épreuve de conduite sur route ouverte, en présence d'un moniteur d'auto-école et d'un observateur qui ont respectivement évalué les comportements et les performances de conduite. Les participants ont également réalisé trois tests cognitifs (UFOV, TMT A & B, test des codes). Ils ont répondu à deux échelles (personnalité et dépression) et évalué par questionnaire leurs propres capacités cognitives et de conduite. Les relations entre les quatre domaines décrits précédemment et les performances sur route seront étudiées par des analyses de corrélation. Des analyses multivariées seront menées pour explorer les domaines qui peuvent mieux prédire les erreurs de conduite. Ces résultats présenteront des preuves

préliminaires quant à l'utilisation des évaluations de la personnalité dans l'identification des biais d'autorégulation en conduite.

Intervenir en faveur de l'agir expressif

Afin d'aider les conducteurs âgés à regagner ou maintenir leurs performances de conduite, diverses interventions ont été expérimentées :

- Des interventions théoriques : Driver Safe Program, CarFit, Wiser Driving Course, Bilfører 65+, Safe Drivers
- Des interventions théoriques associées à un exercice pratique de conduite : Driver Improvement program, 55 alive/mature Driving Program
- Des interventions basées sur l'auto-évaluation et la prise de conscience de ses compétences de conduite : Road Wise Review, Safer Driving, Keys
- Des entraînements pratiques : Drive Wise, entraînement au balayage visuel ou à la détection d'événements dangereux
- Des entraînements cognitifs : Drive Sharp, CogniFit Senior Driver, et 3 autres programmes (Cassavaugh & Kramer, 2009, Marmeleira et al., 2009, Hay et al., 2016)

Le succès de ces interventions va dépendre du contenu des cours, des méthodes utilisées pour aborder les notions de sécurité routière, des qualités professionnelles du ou des intervenants et des caractéristiques des participants (certains n'étant pas enclins à modifier leurs comportements ni avant ni après l'intervention). Ainsi, en raison de la diversité des approches, les résultats de ces interventions ne sont pas unanimes.

Ces différentes interventions sont de natures très variées et proposées à des conducteurs se trouvant à différents stades d'évolution au regard du modèle de Hassan et al. (2015). Par ailleurs, dans de très nombreuses études, aucun modèle théorique n'est invoqué pour comprendre les réussites et les échecs de ces interventions. Dans le projet Cosera (mené sur financement DSCR), nous souhaitons **produire un inventaire critique de ces interventions** en tentant d'identifier, grâce à la confrontation avec le modèle de Hassan, les étapes auxquelles il serait préférable de proposer ces interventions afin d'améliorer leur efficacité. Enfin la confrontation avec les acteurs en sécurité routière en France et au Québec, pourra permettre d'atteindre un meilleur consensus et de réfléchir à la proposition d'arbres de décisions qui faciliteront le suivi des conducteurs âgés.

Dans les travaux de thèse de Ladislav Moták, à propos d'intervention sur l'agir expressif, nous avons obtenu un premier résultat indiquant que les comportements d'autorégulation semblaient s'appuyer sur des indices internes et le fait de vouloir les instruire à l'aide d'indices extrinsèques pourrait mener davantage à une réduction des capacités d'autorégulation qu'à leur supposée amélioration (Moták et al., 2012). Ce travail portant sur les effets de la menace du stéréotype de la personne âgée a été repris cette année et soumis pour publication dans la revue *Geriatrics*. Nous avons étudié sur simulateur le comportement de conducteurs âgés (âge moyen 70 ans). Nos résultats indiquent qu'annoncer aux conducteurs âgés qu'ils sont plus à risque, en raison de leur âge et du déclin de certaines performances de conduite (i.e. les **exposer à la menace du stéréotype** concernant les conducteurs âgés), **compromet sérieusement leurs compétences d'autorégulation** examinée dans la région proximale d'apprentissage. Nos résultats montrent aussi que cela est, au moins en partie, en raison de l'épuisement des ressources exécutives (les conducteurs âgés sous l'effet de la menace du stéréotype tendent à contredire le stéréotype en roulant plus vite). Cet épuisement apparaît également lorsque l'on surcharge la mémoire de travail (les conducteurs âgés sous l'emprise de la menace du stéréotype présentent des performances sur des tâches d'arithmétique modulaire nettement inférieures à celles des conducteurs de la condition de contrôle). Nous complétons ainsi les preuves existantes que la

performance des conducteurs âgés peut être affectée par des facteurs fondés socialement, ce qui suggère qu'entrer simplement dans un programme de sensibilisation au vieillissement peut être suffisant pour mettre à l'épreuve certaines capacités des personnes âgées. Nous proposons également que la menace du stéréotype peut être au moins une explication partielle pour laquelle les conducteurs âgés ont parfois de plus pauvres performances d'autorégulation après avoir assisté à des programmes de réadaptation visant à rendre plus sûrs les conducteurs âgés (Brelet et al., in press).

Durant ces recherches menées sur les approches éducatives, nous avons eu le sentiment que les opportunités d'entraînement cognitif offertes aux personnes âgées pouvaient bénéficier à certains conducteurs pour préserver plus facilement leurs capacités cognitives requises en conduite automobile. L'objectif de la thèse de Marion Hay (2014-2016) 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 ont corrigé leur biais de calibration** (41/88, dont 2/3 de sous-estimateurs). 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, essentielles au vieillissement réussi, sont discutés. Ces recherches extrêmement couteuses en temps et en moyens humains sont très riches et les données collectées vont pouvoir être complétées et valorisées durant les années à venir. La principale faiblesse de ce travail est de ne pas avoir inclus un groupe contrôle passif. Nous prévoyons de le faire dans les mois à venir. Cette étude nous a permis de mettre en place une collaboration avec SBT⁴³ et à partir de leur offre d'entraînement cognitif Happy Neuron de monter notre propre programme d'entraînement des fonctions cognitives sollicitées en conduite automobile. Aux dires de nos participants, la plateforme était agréable à utiliser, l'observance du programme d'entraînement était bonne, les jeux utilisés ont plu aux participants. Ce partenariat a été intéressant et motivant, la plateforme était toujours opérationnelle et nous avons obtenu de jolis résultats sur la calibration cognitive.

La calibration correspond à la précision d'un instrument par la mesure de son écart par rapport à une norme. Cette notion est couramment utilisée en physique mais de nombreuses autres disciplines se la sont appropriée. En psychologie, elle est utilisée dans des situations où l'habileté à émettre un jugement va guider la prise de décision et l'action. La calibration correspond ainsi à l'évaluation de sa compétence à avoir un jugement perceptuel correct. Il s'agit d'un processus de régulation qui agit au niveau métacognitif. A chaque instant le réglage de la calibration varie de manière synchronique et diachronique. La notion de calibration cognitive permet d'étudier comment le conducteur va réguler son comportement lorsqu'il se trouve en situation plus ou moins complexes (Horrey et al., 2015 ;Figure 17). Pour étudier la calibration, on va observer les écarts entre la perception du monde (ou les représentations que l'on s'en fait), la performance dans la réalisation d'une activité et les habiletés dont on dispose. Quand on juge son habileté dans la réalisation d'une tâche, on juge non seulement ses capacités à réaliser cette tâche mais aussi la manière dont on va allouer ses ressources au moment où l'on va devoir réaliser la tâche (on adopte un compromis cognitif).

⁴³ Scientific Brain Training, Villeurbanne (<http://www.sbt.fr>)

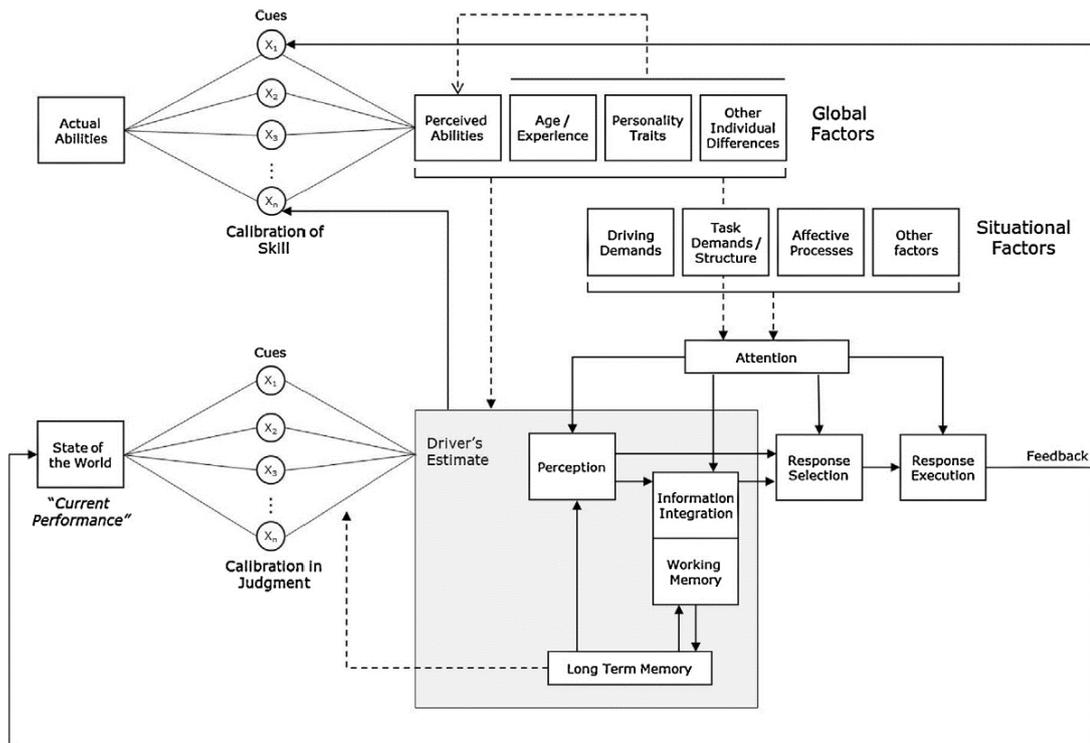


Figure 17 : Cadre conceptuel pour étudier la calibration en conduite automobile

Lorsque l'on souhaite agir sur la calibration des individus, on va intervenir pour amener les mesures subjectives et objectives à devenir concordantes. On intervient en proposant des feedbacks ou rétroactions qui vont avoir des effets immédiats mais aussi des effets différés.

Horrey et al. (2015) décrivent deux formes de calibration qui peuvent influencer les comportements en conduite automobile : la calibration des habiletés (ou savoir-faire) et la calibration des jugements. A l'aide des premières données analysées, nous avons pu explorer la calibration des habiletés. Un travail complémentaire pourra être mené pour explorer la calibration des jugements.

Dans le cadre du projet H2020 SeSAMO (projet retenu en phase 1 et en cours d'expertise pour la phase 2), en plus de compléter la collecte de données afin d'avoir des résultats plus complets quant aux bénéfices de notre programme d'entraînement cognitif, d'autres types d'intervention seront proposées à des personnes âgées (entraînement des conducteurs à la détection de danger, entraînement à l'utilisation d'assistance à la conduite et accompagnement vers l'utilisation d'autres modes de transport). Dans ce projet, nous chercherons à : mieux cibler les interventions en fonction du profil du participant, étudier les bénéfices des interventions sur des variables de sorties complémentaires et suggérer une chronologie pour ces interventions. Nous ne ferons pas l'économie d'une réflexion sur la complémentarité de l'approche éducative et de la formation et il ne faudra pas non plus oublier l'apprentissage spontané tout au long de la vie. C'est très certainement par la complémentarité de ces trois approches que nous pourrons **aider les personnes âgées à prendre conscience de leurs capacités et s'engager afin d'améliorer leurs compétences**. Une réflexion sur un arbre de décisions qui permette de faciliter le suivi des conducteurs âgés pourrait être menée. Les travaux de Kowalski et al. (2014) qui, en enquêtant auprès de conducteurs âgés et en cherchant à conceptualiser leurs changements de comportement, ont permis d'identifier 4 familles de conducteurs (non changeurs, préparateurs, restricteurs cohérents, restricteurs progressifs) seront certainement très utiles.

Intervenir en réadaptation fonctionnelle

La réflexion menée sur le développement de techniques d'intervention pour maintenir la performance de conduite des personnes âgées a été engagée au laboratoire il y a une dizaine d'années. Plus récemment, deux thèses (Masson, 2011 ; Hay, 2016) ont été réalisées afin de les renforcer. Sous la direction de Claude Marin-Lamellet, Pascale Colliot (du laboratoire EMC à l'université Lyon 2) et Marjolaine Masson ont cherché à ré-entraîner les capacités attentionnelles à l'aide du simulateur de conduite en développant un programme d'entraînement (comprenant 9 sessions d'une heure) autour de 4 processus attentionnels : alerte phasique, vigilance, attention sélective et attention divisée. Les bénéfices du programme d'entraînement (proposé à des conducteurs âgés et à des patients ayant eu un traumatisme crânien) se sont avérés limités. Néanmoins, dans cette thèse, de nombreuses pistes d'amélioration des programmes d'entraînement avaient été proposées. La qualité de la procédure (choix, progression et diversité des exercices), la « quantité d'entraînement » (intensivité et durée totale) et la familiarité du matériel utilisé avaient été discutées. Grâce au financement du projet Safe Move et de la thèse de Marion Hay, nous avons pu poursuivre la réflexion engagée. Les connaissances accumulées peuvent maintenant nous permettre d'**élargir notre réflexion afin d'aider le secteur de la réadaptation fonctionnelle à proposer des interventions toujours plus efficaces à leurs patients**. Un préalable à ce travail, sera de mettre à jour la revue de littérature sur les interventions proposées en réhabilitation, Maud Ranchet pourrait être un acteur majeur dans ce travail. Le stage de master 2 d'Isabelle Hoang (détaillée page 60) nous permettra de poursuivre ce travail. Par ailleurs, durant son année de Master 1 réalisée à l'université McGill à Montréal, Isabelle Hoang a suivi un cours sur la psychologie de la motivation et des émotions à appliquer à la réhabilitation. Ce cours pourrait être un creuset original pour développer des interventions favorisant le retour à la mobilité pour les patients (en favorisant la reprise de la conduite ou alors un report modal vers d'autres formes de transport).

Dans ses recommandations, la HAS, souligne l'importance de **prévoir un accompagnement des patients durant le processus de réadaptation**. Ceci offre aux médecins la possibilité d'accompagner le changement de comportement et de donner des informations sur les alternatives à la conduite. Il nous faut donc aussi réfléchir à la place du simulateur et de l'épreuve sur route à des fins pédagogiques.

- Dans la mesure où le patient peut utiliser le simulateur sans être malade, des séances de conduite simulée au cours desquelles le patient pourrait être confronté à des situations plus ou moins conflictuelles pourrait l'aider à comprendre les difficultés auxquelles il se trouve nouvellement confronté. Cette séance pourrait aussi apporter des éléments de connaissance important afin de proposer un programme d'entraînement adapté aux difficultés rencontrées (entraînement cognitif, entraînement à la détection de danger ou alors entraînement à la conduite). Afin de savoir si la durée de l'entraînement a été suffisante, une évaluation des bénéfices de l'entraînement pourrait être proposée tout d'abord sur simulateur puis, si la décision est favorable, une évaluation unique pourrait alors être proposée sur route. Ceci représenterait un gain économique important. De même, cet outil pourrait être utilisé afin d'entraîner les patients à utiliser les aménagements qui lui ont été préconisés et de vérifier leur bonne utilisation avant que le patient parte sur la route.
- Comme la littérature montre des bénéfices plus marqués pour l'entraînement sur route (Korner-Bitensky et al., 2009), et comme le mentionne la HAS, un réentraînement sur route pourrait être préconisé (à partir du moment où les objectifs de celui-ci ont été bien déterminés voire réajustés durant l'entraînement). Les habiletés suivantes pourraient être entraînées : maîtrise des aménagements, modification d'habitudes de conduite antérieures, problème de positionnement sur la chaussée, utilisation des contrôles rétroviseurs ou des clignotants. La HAS recommande que cet entraînement sur route n'excède pas 10 heures et qu'il puisse être

interrompu si l'enseignant de la conduite ne met pas en évidence de progrès après quelques séances successives.

Sur de nombreux thèmes, nous disposons de précieuses connaissances ou idées afin d'aider la HAS à mettre en place les recommandations formulées. Dans les mois à venir, nous devons aller chercher de nouveaux partenariats pour contribuer à l'amélioration de la prise en charge des patients.

Décélérer la fragilité évitable et offrir à nouveau la capacité à être mobile

Dans le secteur de la santé, des progrès considérables ont été faits afin de mieux soigner les personnes fragiles et de faciliter leur prise en charge. Les connaissances acquises nous permettent maintenant de nous projeter dans de nouvelles activités afin de transposer cette approche au secteur du transport en vue de **mieux accompagner ces personnes fragiles et adapter l'offre de transport lorsque ceci deviendra nécessaire.**

La fragilité est un syndrome lié au processus de vieillissement qui décrit l'atteinte d'un niveau limite des réserves fonctionnelles ou un échec à intégrer les contraintes face au stress. Afin de pouvoir agir avant le franchissement du seuil d'incapacité (Annexe 1, Figure 23), une évaluation de la fragilité de la personne âgée permet de cibler ses risques de dépendance. Concernant la fragilité de la population âgée, compte tenu de la polysémie du terme « fragilité », deux points de vue peuvent être défendus : être ou ne pas être fragile. La fragilité peut être définie comme le caractère de ce qui est fragile, de ce qui se brise facilement (dictionnaire Larousse en ligne). En biomécanique des chocs, ceci évoquera donc l'état du corps humain auquel on impose des contraintes mécaniques. Dans le champ des transports, de manière unanime, il est dit que les personnes âgées sont fragiles et vulnérables. En effet, les chiffres de l'accidentologie routière sont éloquentes : les personnes âgées ont une mortalité élevée ; à choc égal, elles meurent plus et ont des blessures plus graves que des usagers plus jeunes (Martin et al., 2003 ; Lafont and Laumon, 2003). Ce résultat est expliqué par une plus grande fragilité physique en cas de choc. Mais la fragilité est aussi un concept phare de la gériatrie qui rencontre un très fort succès car il ne véhicule pas de connotation négative. Cette notion paraît simple mais lorsque l'on tente de la définir un consensus est difficile à atteindre, plus de 30 définitions de la fragilité ont été recensées ; elle réunit trois ordres de faits différents : c'est un phénomène multifactoriel, multi-systémique, évolutif et instable qui peut décompenser en cascade vers la dépendance et vers la mort (Blanchard, 2004). Mais c'est également un **phénomène rare et réversible.**

La détection de la fragilité est un défi qui doit être relevé non seulement par les secteurs du soin, de la santé et les services sociaux mais aussi par les autres services déconcentrés de l'état Français. La fragilité est associée à un risque accru de déclin des capacités fonctionnelles qui va retentir sur les capacités cognitives et physiques. Si cette fragilité n'est pas prise en compte, l'individu va perdre ses capacités et devenir vulnérable. Il va voir ses risques de chutes, d'immobilité⁴⁴ ou d'institutionnalisation augmenter rapidement et le conduire prématurément à la mort. Cinq symptômes sont très facilement identifiables : la perte de poids involontaire, l'épuisement ressenti, la vitesse de marche ralentie, la baisse de la force musculaire et la sédentarité. L'individu est considéré comme fragile s'il présente trois ou plus de ces critères et pré-fragile en présence d'un à deux de ces critères. Les principaux déterminants de la fragilité sont connus : deuil, accidents (de la route, domestique ou de santé), chute, pathologies évolutives). Fort heureusement, lorsqu'il est détecté à temps, cet état est réversible car les interventions peuvent être mises en œuvre à un stade où elles peuvent encore être efficaces. La HAS a d'ores et déjà produit un outil pour son repérage en soins

⁴⁴ On parlera plutôt d'un syndrome d'immobilité associé à un risque de détérioration des divers systèmes et appareils de l'organisme ou d'un fonctionnement perturbé, dû à une inactivité musculo-squelettique prescrite ou inévitable (définition utilisée en soins infirmiers).

ambulatoires. Une fiche de détection de la fragilité sociale a été développée dans le plan cancer 2009-2013 et de nombreuses autres initiatives prometteuses existent en particulier au Québec.

Dans les précédentes décennies, la qualité du transport routier a progressé en réduisant la mortalité évitable et nous pourrions maintenant faire un pas supplémentaire en avant afin de **progresser sur l'«immobilité évitable»** et ainsi prévenir la survenue d'événements défavorables pour les usagers des transports. La prévention de la fragilité se prête encore à une analogie supplémentaire avec ce qui a été fait en prévention des accidents de la route car on peut aussi agir à trois niveaux : la prévention primaire (détection avant que la difficulté survienne afin d'éviter son apparition), secondaire (diminution de la prévalence d'une maladie, réduction de sa durée) et tertiaire (agir pour les incapacités installées et éviter les rechutes). L'Ifsttar a contribué pendant plusieurs années à la prévention des accidents de la route en agissant sur ces trois niveaux, par analogie, nous pourrions ainsi imaginer des actions de prévention qui agissent à chacun de ces niveaux.

La détection de la fragilité est un travail collectif. Les proches peuvent aider la personne à reconnaître les difficultés, échanger avec leur aîné, identifier et faire utiliser les services adaptés. Le médecin va repérer les conditions médicales, les médicaments qui peuvent impacter la conduite, dépister quelques troubles et sensibiliser son patient. Les autres personnels de santé vont prolonger les actions de sensibilisation, voire mettre en place des actions éducatives. Les services de l'état doivent penser les lois, orienter les infirmiers, faciliter le dépistage et l'évaluation, éduquer, entraîner, susciter les collaborations interservices, contribuer aux stratégies territoriales en organisant le travail avec ses services déconcentrés. Sur cette question, le travail de l'état est colossal et il convient d'apporter un concours le plus efficace possible.

Afin de retarder la dépendance évitable, l'organisation de parcours a été pointée par la HAS comme point clé et solution pour lutter contre la fragilité. Un *parcours de santé* a été proposé pour 1) améliorer la coordination des soins de la médecine de ville et de l'hôpital au bénéfice du patient et 2) améliorer la coordination des équipes sociales et médico-sociales autour de la personne en risque de fragilité et un *parcours de vie* a suivi visant notamment une meilleure coordination entre domicile et institution pour la personne âgée. **Oublier de penser à un parcours de mobilité serait un terrible aphorisme !** La coordination des soins a permis de faire évoluer le réseau de santé, pourquoi ne pas croire que la coordination des transports puisse faire évoluer le réseau de mobilité.

Une piste de recherche novatrice pourrait consister à **détecter la fragilité au volant**. Au niveau international, certains chercheurs travaillent déjà sur cette question. Une intéressante étude rétrospective a été menée auprès de 183 personnes fragiles âgées de plus de 75 ans (Carr et al., 2006). 85 % pratiquaient encore la conduite. Il serait intéressant de mieux étudier leurs comportements afin d'identifier les meilleurs pistes pour les aider en cas de besoin. Parmi les précurseurs d'arrêt de la conduite chez ces personnes, on retrouve l'âge, le lieu de résidence, la force de préhension comme prédicteurs indépendants. Comme nous l'avons évoqué dans le cadre des travaux du GT-DSCR concernant l'examen psychotechnique des conducteurs, les outils de repérage de la fragilité au volant doivent être simples et accessibles par tous, être d'une bonne sensibilité, être validés, avoir une bonne valeur prédictive. Une initiative forte intéressante a été mise en œuvre en région Bourgogne Franche-Comté, grâce à un partenariat entre la Carsat et la Poste. Un dispositif de veille et d'accompagnement social a été mis en place et 1500 retraités fragilisés ont été repérés en 9 mois. La Carsat a prévu de contacter chacun d'eux afin de leur proposer divers services (aide quotidienne au maintien à domicile, accompagnement par une assistance sociale, soutien à l'amélioration de leur logement, ateliers de prévention). Il serait intéressant de contacter très rapidement la Carsat afin de proposer un éventuel complément sur la prévention des risques routiers (si ceci n'est pas encore prévu) et le montage d'un service d'aide à la mobilité. Si les porteurs de cette étude souhaitent aller plus loin, nous pourrions

grâce à leur cohorte **repérer les facteurs intrinsèques et extrinsèques de fragilité au volant**. La nouvelle loi d'adaptation de la société au vieillissement exige d'anticiper la perte d'autonomie en développant des actions de prévention et faire de la lutte contre les inégalités sociales une priorité. S'attaquer à cette question permettrait de lever de nombreux obstacles à la prévention et de mieux accompagner les ruptures intervenant dans les parcours de vie.

5.3 Ne pas laisser les usagers âgés en marge de la révolution numérique qui s'opère dans le monde de la santé et celui du transport

Comme le souligne Axelle Lemaire, secrétaire d'état chargée du numérique, « notre pays comme bien d'autres est en phase de mutation accélérée d'une économie des ressources rares, centralisée, vers une économie de l'abondance, décentralisée, connectée, basée sur les données et leur circulation. Pour la France, l'enjeu est de préparer cet avenir pour accompagner cette innovation et le développement de nouveaux modèles. L'état doit ainsi penser à accompagner les personnes numériquement démunies afin de réduire la fracture sociale ». Les nouveaux outils numériques bouleversent le fonctionnement de la société, au bénéfice du pouvoir d'agir de chacun, de sa capacité à participer et à contribuer à la décision et à la production. Pour faire face au défi du bien vieillissement, cette révolution numérique est une opportunité exceptionnelle. Si le numérique est pensé pour être déployé et inclusif, une seconde révolution va lui succéder : celle du bien vieillir. En effet, le monde de la santé connectée est en passe de profondément changer la façon de prendre en charge les patients. La révolution numérique transforme aussi l'action sociale et est en passe de bouleverser complètement nos façons de voyager ou de nous déplacer.

Le domaine des facteurs humains peut contribuer à améliorer les outils et services proposés aux seniors. Pour éviter une fracture sociale supplémentaire au sein de cette population, nous devons accompagner les personnes les moins connectées et les moins aptes à utiliser ces technologies, ceci doit passer par un apprentissage par l'usage. Aujourd'hui le numérique offre tant de nouveaux services qu'il est indispensable de mettre en place, au niveau tant individuel que collectif, un système d'apprentissage permanent qui permette à chacun d'exprimer sa citoyenneté et de renforcer son pouvoir d'agir. Il faut aussi prendre en compte les besoins des utilisateurs finaux des nouveaux services offerts. Les méthodes de la psycho-ergonomie sont un atout indéniable pour aborder ces travaux.

5.3.1 La médecine à l'ère du numérique

L'e-santé, aussi appelée santé numérique ou médecine numérique, offre des services destinés au bien-être des personnes mais aussi à la gestion de leur santé. La télémédecine regroupe les pratiques médicales facilitées par le numérique. Les capteurs qu'elle utilise sont des dispositifs médicaux qui répondent à des critères de qualité et les patients peuvent avoir confiance en leurs mesures. Ils autorisent par exemple l'obtention de constantes vitales qui permettent de mieux suivre des pathologies chroniques. Cette nouvelle médecine numérique est bien plus agile, en cas de besoin la prise en charge des patients est bien plus rapide, et, dans un très grand nombre de cas, cette médecine offre un suivi préventif efficace. Ceci permet même de détecter précocement un état de fragilité afin de prendre en charge la personne dès son apparition afin qu'elle retourne le plus rapidement possible à son état antérieur. Une fois déployées, ces techniques vont aussi permettre la détection de la fragilité de manière simplifiée et universelle, voici une belle réponse aux développements de la médecine constructive évoquée par Pierre Falzon. Enfin, l'e-santé permet d'adapter la politique de santé à chacun en offrant un parcours de soins qui soit au plus proche des besoins de l'individu. Pour faire face à cette révolution de la prise en charge des patients, l'enjeu organisationnel pour les services de médecine est de taille.

Même si le parcours pour le développement de ces technologies est semé d'embûches de diverses natures (juridiques, éthique, sociale...) et va nécessiter du temps pour emporter l'adhésion de nos concitoyens, les opportunités offertes sont énormes. On peut par exemple espérer équiper un appartement de capteurs pouvant détecter les comportements anormaux (chute, absence de mouvements, porte du réfrigérateur fermée trop longtemps) ; avoir à côté de soi un écran qui peut téléphoner à ses petits-enfants, rappeler les rendez-vous de la journée, proposer un jeu de mémoire, disposer d'un pilulier connecté qui surveille l'observance, bénéficier d'un traitement par insuline associé à des recommandations journalières pour régler les doses, pouvoir tracer un EEG en 30 secondes lorsqu'un malaise survient. Ces outils technologiques sont de réelles aubaines pour permettre aux personnes âgées de rester plus longtemps chez elles. En effet, lorsque la perte d'autonomie devient inéluctable elles pourront encore se déplacer numériquement.

Contre certaines attentes, les premiers constats d'usage dans ce domaine soulignent que l'acceptation par les seniors dépend prioritairement du plaisir perçu et de l'amélioration de la vie quotidienne avant même les bénéfices liés à la surveillance. La révolution numérique est entrée dans le domaine de la santé avant celui des transports, voici une opportunité de trouver des idées fortes qui pourront éclairer le développement de nouveaux services de mobilité.

5.3.2 La mobilité à l'ère du numérique

Le numérique crée de nouveaux modes de transport et transforme, sans exception, les usages de tous les moyens de transport actuels. Comme le souligne Louis Fernique, « les sciences et technologies de l'information envahissent les champs de la mobilité et portent en elles des promesses d'innovation technologiques dans plusieurs domaines (dématérialisation des infrastructures et des services) ». L'enjeu est que la société s'adapte non seulement au vieillissement mais aussi au numérique afin de saisir tous les bénéfices que l'on pourrait en tirer. Cette conjonction d'impératif politique est une aubaine. Si les exigences de la conception universelle sont respectées les seniors pourront profiter des nouvelles possibilités offertes. La voiture va continuer à rester attractive en particulier pour cette population captive, il faudra encore plus innover pour inciter au report modal. Une solution pourrait être de connecter les modes entre eux et pouvoir accéder aux services de manière unifiée, ceci faciliterait l'utilisation par les seniors. Si une offre permettant de découvrir les nouveaux services offerts est proposée aux seniors, ceci pourrait permettre de vaincre leur sentiment d'insécurité dans les transports en étant séduit par la simplicité du dispositif, le bien-être provoqué et l'aide conséquente apportée. Le développement d'une offre d'information instantanée multimodale comprenant les offres de covoiturage et d'auto-partage pourraient alors aussi profiter aux seniors. Dans cette section dédiée au transport, il convient aussi de rappeler l'existence de la mobilité numérique. Communiquer, échanger, bavarder avec un proche sans sortir de chez soi grâce à internet contribue aussi à repousser l'entrée en dépendance et l'âge de l'entrée en institution.

5.3.3 Les technologies et leur connexion contribuent à améliorer la sécurité routière : quelles opportunités et entraves pour les conducteurs âgés ?

Le rôle des assistances à la conduite est de pallier les défaillances du conducteur dans des phases plus ou moins critiques de la conduite. Face à une situation potentiellement dangereuse voire accidentogène (comme l'apparition d'un obstacle, ou bien une vitesse excessive en courbe), le rôle de l'assistance est d'intervenir au plus tôt dans cette séquence d'action pour pallier les défaillances, erreurs ou fautes de perception, d'analyse, de décision et/ou d'action du conducteur afin de rétablir au plus vite une situation normale. Si la correction s'avère efficace, on revient vers une situation normale ; en cas d'échec, il faut engager une nouvelle séquence de correction (Herlich, 2009). L'aide à la conduite doit donc être en mesure d'interagir avec le conducteur afin d'ajuster son assistance en

fonction des actions du conducteur. Les assistances à la conduite sont ainsi développées afin d'aider la conducteur à mener ses actions de contrôle, de surveillance, de respect des règles de circulation afin d'éviter les sanctions. Le présupposé adopté par les équipes travaillant au développement d'assistances à la conduite est que la conduite humaine est prévisible et que ces assistances vont ainsi pouvoir faire face aux incidents pressentis.

La démarche scientifique adoptée dans le développement de ces assistances est basée sur 4 étapes essentielles: 1) une analyse du comportement (décomposition en processus ou unité de comportement), 2) la recherche et la conception de l'assistance (à partir de règles de raisonnement et de décision), 3) le développement d'une prothèse cognitive (par des mécanismes de substitution ou d'automatisation). 4) un retour à la première étape afin, dans un processus itératif de conception, de vérifier le bon fonctionnement de l'assistance voire l'affiner si besoin. Lorsque l'activité correcte est connue, on peut rendre compte de l'erreur humaine par une démarche objective et naturaliste de la défaillance et de l'erreur. Mais, comme le souligne Dejours (2014), plusieurs problèmes méthodologiques existent dans ce travail. Tout d'abord, on formule des hypothèses faibles sur les questions de négligence et d'incompétence. Ceci laisse une place pour l'interprétation et la délibération et c'est en parti ce qui confère un caractère incertain à notre discipline (Wisner, 1994). Par ailleurs, il est intéressant de faire une distinction entre le réel (sur quoi échoue la technique) et la réalité (état des choses). Par cette distinction, Böhle & Milkau (1991) soulignent que les facteurs humains ont parfois pris un trop fort tournant cognitif. Les échecs de la technique nous montrent que la défaillance est inévitable. Le travail de notre discipline est ainsi toujours renouvelé, de nouvelles erreurs sont à résoudre. Il nous faut ainsi assumer les conséquences du concept d'activité : faire face à la résistance du réel, corriger les échecs objectifs par des compensations partielles. Pour cela il nous faut tenir compte de l'ingéniosité de l'expérience vécue et non de l'expérimentation réglée. Dans notre discipline, il faut pouvoir et savoir tenir compte de l'intelligence de la pratique en explorant aussi l'activité subjectivant, les « tacite skills » ou compensations partielles réalisées par des processus subjectifs. Néanmoins, certaines assistances à la conduite sont aujourd'hui robustes et contribuent à rendre notre système de transport résilient. Par le développement d'automates bien conçus et pensés pour entrer en interaction avec le conducteur, la technologie peut assister le conducteur de manière efficace.

Une étape supplémentaire importante dans l'amélioration de l'efficacité de ces assistances a été franchie lorsque ces technologies d'assistance ont été connectées. La limitation de vitesse est par exemple devenue adaptative, on l'a même dite intelligente. Ces systèmes se sont avérés plus efficaces que de simples régulateurs ou limiteurs de vitesse. En ayant su bien gérer les interactions entre véhicules et leurs conducteurs, on a ainsi pu démontrer la supériorité de la machine sur l'homme. De nombreuses fonctions d'assistance ont été développées ces dernières années et parmi celles-ci, le correcteur électronique de trajectoire (ESP) et l'assistance au freinage d'urgence (AFU) ont montré des gains en matière de sécurité routière inégalée depuis le port de la ceinture, la limitation des vitesses et l'installation de radars automatiques. Selon Yves Page (Renault), le risque de lésions MAIS3+ est réduit de 70 % pour les conducteurs qui disposent de cette technologie. Compte tenu du nombre croissant de systèmes à interconnecter dans un véhicule (Figure 18), un enjeu de recherche majeur sur cette thématique va consister à concevoir des dispositifs toujours plus complexes qui seront en mesure d'interagir efficacement avec le conducteur.



Figure 18 : Illustration de la complexité de l'intégration de nombreuses technologies et de ses interactions avec le conducteur (Source : Yves page, Renault)

Compte tenu de la fragilité des séniors et des défaillances ou erreurs que nous avons pu identifier dans différentes phases de conduite, il est indéniable que l'utilisation d'assistances à la conduite contribue à améliorer leur sécurité. Il me semble néanmoins que l'entrave majeure que nous devons constamment garder en tête est que la conduite des séniors est parfois moins prévisible que celle d'un conducteur plus jeune. La conduite des séniors montre quelques défaillances dans des situations particulières et il ne faut pas oublier que les assistances proposées vont pouvoir faire face aux incidents pressentis mais les cas d'usage de la technologie auront-ils tous été envisagés ? Dans le projet Safe Move, sous l'impulsion de Thierry Bellet, une revue de littérature et une réflexion collective ont été menées afin d'identifier les technologies les plus utiles pour améliorer la sécurité et le confort de conduite des séniors (Paris et al., 2014). Parmi ces technologies, une assistance au franchissement d'intersection est unanimement citée comme prometteuse. En effet, il a été démontré chez les séniors australiens, qu'un accident mortel sur deux a lieu à une intersection (Langford, 2006). Les trois types d'accident en intersection (Tourne-à-gauche, Tourne-à-droite et tout droit) attestent des difficultés qu'ils rencontrent dans la négociation de cette manœuvre. Il s'agit de réaliser, en temps contraint, une tâche partagée complexe exigeante en attention qui requière de la coordination motrice et le traitement parallèle de plusieurs informations. Il est probable, qu'en des circonstances particulières, les ressources attentionnelles de certains conducteurs ne soient plus suffisantes. D'après (Poulter et al., 2013), après 75 ans, ces limitations peuvent entraîner une réduction de 50% du temps disponible pour réaliser la manœuvre. Par ailleurs, le périmètre de circulation se restreignant avec l'âge, l'exposition à cette situation est aussi plus forte (Eberhard, 1996). On comprend donc que le développement d'assistance au franchissement d'intersection est une opportunité pour améliorer la sécurité des conducteurs séniors. Dans le cadre du projet Adaptation (ITN Marie Curie), la thèse de Mandy Dotzauer a permis d'étudier les effets à longs termes de l'utilisation d'une telle assistance sur la performance de conduite des séniors et d'explorer aussi ses effets auprès de conducteurs parkinsoniens (Dotzauer, M., 2015). Des pistes intéressantes pourront être poursuivies.

Pour avancer dans la conception de ces technologies, certains résultats complémentaires doivent attirer notre attention. Donmez et al. (2006) ont étudié l'association entre le type de distraction, l'âge du conducteur et la sévérité des accidents. En comparant les sursurrisques des conducteurs impliqués ou non dans une activité distractive, ils démontrent qu'il existe pour les conducteurs âgés un sursurrisque lié à la manipulation manuelle du téléphone et aux conversations. Contrairement à ce que Charlton et al.

(2013) avaient annoncé⁴⁵, cette étude atteste que certains conducteurs âgés s'engagent dans des activités distrayantes au volant et par conséquent n'autorégulent pas forcément leurs comportements. Une étude récente mentionne une source de distraction involontaire originale qui augmente leur risque d'accident : le fait de toujours conduire en présence d'un animal domestique (Blunck et al., 2014). Ces données relatives à la distraction des séniors ouvrent quelques pistes pour le développement de nouvelles assistances.

Dans une perspective de conception universelle de ces technologies, l'approche facteurs humains doit permettre d'améliorer l'utilisabilité et l'acceptabilité par les séniors. Parasuraman & Riley (1997) distinguent 4 pistes importantes à explorer : les usages (activation volontaire ou désengagement du système automatisé), les mésusages (sur-confiance en la technique pouvant résulter en un échec du contrôle cognitif et une prise de décision erronée), la désuétude – traduction inadéquate de « disuse » (négligence ou sous-utilisation de l'assistance) et les abus (développement de la technologie poussé exclusivement par l'offre sans étudier les conséquences que cela peut avoir sur le comportement de l'utilisateur). Parmi les facteurs interagissant lors de l'utilisation d'une assistance il serait particulièrement intéressant d'explorer la charge mentale réelle et perçue par les conducteurs séniors, leurs croyances en la technique, la confiance qu'ils lui accordent et les risques qu'ils accepteraient. Dans les années à venir, ces questions de recherche pourront être abordées en collaboration avec Jordan Navarro de l'université Lyon 2. Une piste novatrice pourra aussi consister à utiliser les informations connues par ces assistances pour les restituer aux conducteurs âgés afin de les aider à prendre conscience du déclin de certaines de leurs capacités à conduire et les aider à mieux adapter leurs comportements. Enfin, pour que les conducteurs séniors puissent pleinement profiter de l'offre technologique offerte aujourd'hui pour améliorer leur sécurité routière, des actions de promotion devront être envisagées. Des campagnes d'information, assorties de séances d'essai voire de formation à leur utilisation pourraient très certainement améliorer l'acceptabilité de ces technologies par cette population.

5.3.4 L'avènement du véhicule autonome : des challenges à relever et des opportunités uniques de suppléance

En préambule à cette section, il est important de s'appuyer sur une grande conclusion des travaux sur les facteurs humains : tout ne peut pas être automatisé ! En effet, inventer les automatismes passe par l'intervention d'un humain qui reste faillible, l'automate peut lui aussi présenter des défaillances (et pour les corriger on a besoin de l'humain lui-même défaillant), l'automate doit enfin conquérir le monde opératoire standardisé ou standardisable avec tout ce qui peut actuellement échapper à la description d'une activité de conduite standardisée. Les développeurs du véhicule autonome doivent donc garder en tête l'illusion de toute puissance que cet objet technologique représente et être prêt à remonter les manches pour corriger les nombreuses défaillances, erreurs, ou fautes que l'on pourra observer. Comme le souligne Dejours (2014), le postulat positiviste accorde une grande puissance pour l'action comme argument de la décision. Sur ce thème, l'innovation par la technologie implique une prise de risque et les difficultés imprévues qui apparaîtront seront résolues par le travail constant des équipes.

Sur la question de l'avènement du véhicule autonome, nous devons faire face à un changement de paradigme. De façon évidente, le rôle du conducteur change fondamentalement : il sera dans ou hors la boucle. Il s'agit d'une forte rupture théorique pour les approches de la conduite menées jusque-là par notre communauté (Figure 19). Par les contacts entretenus via Arpège (Association pour la

⁴⁵ L'engagement des conducteurs âgés dans une activité secondaire semble être moindre dans les intersections complexes et lorsque le véhicule est en mouvement

Recherche en Psycho-Ergonomie et Ergonomie), nous pourrons faire en sorte que les principaux défis liés à l'avènement du véhicule autonome soient couverts par la recherche (acceptabilité par les usagers, usages et mésusages prévisibles, sûreté et sécurité du véhicule autonome).

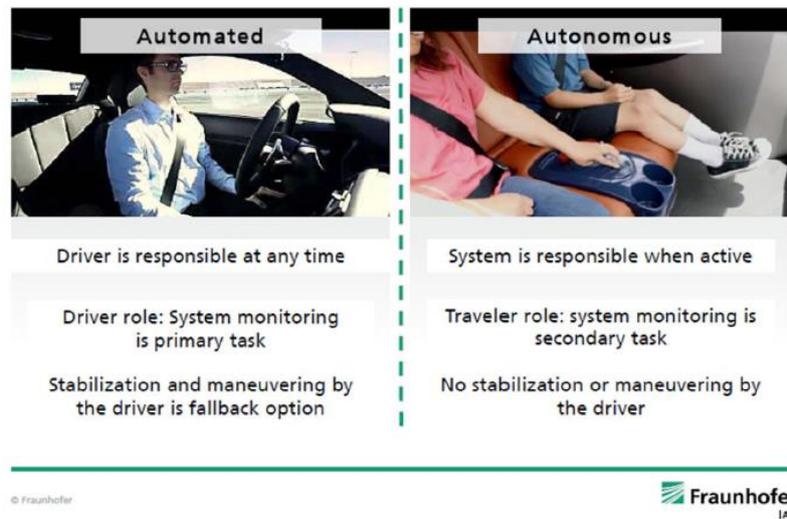


Figure 19 : Illustration du changement de paradigme lors du passage de l'utilisation d'un véhicule automatisé à un véhicule autonome (source : Fraunhofer).

Dans les années à venir les recherches que je vais développer sur ce thème vont porter sur la question de **la reprise en main du véhicule et la gestion des ressources attentionnelles** avec une analyse centrée sur la conduite de l'individu, terme pris ici dans son acception générique, et non plus uniquement sur ses comportements. Grâce aux travaux de Julien Cegarra de l'institut national universitaire Champollion d'Albi, un regard particulier sur les questions d'initiative d'engagement et de motivation à l'usage pourra être porté.

Ces deux dernières années universitaires (2014-2016), j'ai encadré trois stages sur ces deux thèmes. Nous avons ainsi pu étudier sur simulateur les réactions de conducteurs lorsque, en situation critique d'arrivée sur un obstacle, on leur demande de reprendre en main un véhicule autonome (Pépin, 2015). Nous avons aussi pu comparer ces réactions à celles de conducteurs utilisant un système de régulation adaptative de la vitesse (Maillant, 2016). Nous avons profité de ces expérimentations pour collecter des données comportementales de conduite dans des scénarios faisant varier les états internes des conducteurs (en induisant des distractions cognitives et du vagabondage de la pensée) afin de disposer de données pour rechercher des indicateurs d'états attentionnels dégradés. Notre objectif à terme étant de disposer de marqueurs cérébraux, oculaires et physiologiques dans le but de pouvoir établir un suivi en temps réel (en ligne) de l'état objectif du conducteur. Les premiers résultats obtenus sont encourageants. Nous avons pu déceler un état inattentif du conducteur par l'analyse de l'exploration visuelle et des comportements de conduite (Malin, 2016). Ces premiers résultats confirment les dangers de l'automatisation partielle qui avaient été anticipés avant leur développement : **les systèmes automatisés procurent plus facilement un état inattentif chez le conducteur**. Les résultats ont permis d'entrevoir également la plausibilité de déceler l'inattention par la variation du rythme cardiaque (corrigée de l'influence de la respiration)⁴⁶, la fixité du regard et les écarts de trajectoire latéraux sur la voie. La manière par laquelle il conviendrait d'aider le conducteur à reprendre efficacement le contrôle de son véhicule, reste encore à débattre sous le regard de la neuroergonomie.

⁴⁶ Ces recherches sont détaillées plus loin.

Nous avons appris très récemment l'acceptation pour financement par l'ANR du projet AUTOCONDUCT. Ce projet coordonné par Patricia Joinville de Védecom et Hélène Tattegrain (directrice du Lescot) vise à proposer un monitoring avancé de l'état du conducteur de véhicule autonome de niveaux 3-4 en combinant plusieurs diagnostics. Le but est de prédire et d'adapter en temps réel la gestion des interactions entre l'homme et la machine (IHM). Le résultat attendu est la conception centrée sur l'utilisateur d'un démonstrateur physique présentant un haut niveau d'acceptabilité. Le projet consiste ainsi à (1) évaluer l'acceptabilité sociale et d'usage par le conducteur de ce nouveau mode de mobilité de manière à en identifier les attentes et les besoins (cette tâche sera coordonnée par Annie Pauzié), (2) concevoir et valider des diagnostics de l'état du conducteur ainsi que (3) des modalités d'IHM (je collaborerai avec Alexandra Fort et Christophe Jallais sur ces travaux) afin (4) d'intégrer et évaluer l'ensemble des travaux dans des conditions écologiques.

La thèse de Guillaume Pépin, démarrée en octobre 2015, vise à **développer une brique technologique permettant de déceler les états internes du conducteur**. Dans le cadre du Challenge Innovation Valeo, nous avons récemment remporté un prix pour ce travail. Dans la perspective d'assurer une bonne reprise en main d'un véhicule autonome, il est nécessaire de **disposer d'un diagnostic d'état du conducteur**. En effet, en utilisant ces véhicules, le conducteur aura pour tâche de surveiller l'automatisation et de reprendre le véhicule en main lorsque cela sera nécessaire. Un état interne dégradé pourrait être un élément perturbateur car l'effort cognitif que le conducteur aura à fournir pour ramener son attention à la conduite, mettre à jour sa représentation de la situation et réintégrer la boucle de contrôle pourrait faire échouer sa reprise en main. Il convient donc de rechercher une solution innovante pour résoudre cette difficulté.

Il existe d'ores et déjà des études qui ont permis, par des mesures comportementales et physiologiques, de détecter les états attentionnels dégradés des conducteurs (Liang et al., 2007). Les systèmes actuels détectent la distraction au volant mais aucun système ne permet encore de détecter l'inattention liée à une distraction cognitive supplémentaire ou au vagabondage de la pensée (VP). **Des marqueurs physiologiques de l'effort cognitif ont été mis en évidence** : au niveau électroencéphalographique (EEG), l'amplitude des ondes thêta et delta augmenteraient alors que l'amplitude des ondes alpha et beta diminueraient ; au niveau cardiaque, sur de courtes fenêtres temporelles, on noterait une accélération du rythme avec l'effort cognitif ; l'oculométrie a permis de montrer un nombre plus important de clignements oculaires et un nombre de fixations moindre pendant le VP ; au niveau comportemental, on remarque une absence de micro-régulations de la position latérale du véhicule. Chacune de ces études a mis en évidence un indicateur susceptible de détecter ces états internes.

Pour progresser sur ces questions, nous avons souhaité explorer la littérature sur le VP. Smallwood et Schooler (2015) soulignent que, pendant le VP, l'attention se désengage de l'environnement externe pour se tourner vers des pensées internes (découplage perceptif). Le conducteur n'est alors plus à même d'avoir une bonne représentation de la situation, les efforts cognitifs qu'il fournit sont au service de ses pensées auto-générées. Le coût cognitif supplémentaire engendré pour ramener son attention vers l'activité principale pourrait ainsi devenir trop important notamment lors de fortes contraintes temporelles. En effet, la reprise en main implique une transition entre l'activité annexe de l'opérateur et la prise de contrôle du véhicule. L'opérateur pourrait donc ne plus avoir les ressources cognitives suffisantes pour ramener son attention sur la conduite afin de pouvoir réintégrer correctement la boucle de contrôle. Il convient alors de mesurer en temps réel l'effort cognitif fourni afin d'adapter le niveau d'assistance en conséquence et de permettre une bonne reprise en main du véhicule.

Dans ce travail, nous avons souhaité poursuivre une piste de recherche particulièrement intéressante : **améliorer la sensibilité de la mesure de l'effort cognitif via l'analyse conjointe des activités cardiaque et respiratoire**. Comme évoqué au préalable, la mesure de l'effort cognitif par la variation du rythme cardiaque (VRC) a été plusieurs fois mise en évidence et, à l'aide d'une étude de la réponse cardiaque évoquée, nous avons pu confirmer la bonne sensibilité de la VRC en conduite automobile (Pepin et al., in press). En revanche, il existe des liens forts entre rythme cardiaque et respiration. Ce phénomène est appelé Arythmie Sinusale Respiratoire (ASR). Afin d'améliorer la sensibilité de cet indicateur d'effort cognitif, il convient donc de supprimer du signal cardiaque l'influence de la respiration. Une technique de modélisation de la respiration a été validée (Choi et al., 2011). Il convient donc maintenant de savoir si la VRC corrigée de l'influence de la respiration est un indicateur suffisamment sensible pour permettre de détecter en temps réel l'effort cognitif du conducteur. Dans la phase 2 du Challenge Valeo (travaux confidentiels), nous avons mis en place des travaux complémentaires pour attaquer cette question. Quelle que soit l'issue donnée à ce prix, ces travaux seront poursuivis dans le cadre de la thèse de Guillaume. A l'aide d'une approche en neuroergonomie, une expérimentation complémentaire utilisant la technique des potentiels évoqués sera menée pour **étudier les corrélats psychophysologiques du vagabondage de la pensée** afin mieux comprendre les effets de l'effort cognitif sur la prise et le traitement de l'information, vérifier ses conséquences sur les activités cardiaque et respiratoire et sur la réponse électrodermale. Sur une idée de George Michael du laboratoire EMC à l'université Lyon 2, cette dernière technique sera utilisée afin d'interpréter nos résultats en ayant une meilleure connaissance sur nos participants. La labilité électrodermale (LED) est considérée comme un trait psychophysologique lié au degré d'attention portée à ses propres pensées et cognitions. Il serait attendu que les individus qualifiés de labiles d'un point de vue électrodermal aient un esprit plus vagabond que les stables car leur attention serait plus fréquemment et plus intensément orientée vers leurs pensées et serait donc détournée de la tâche primaire. Ces travaux pourront être analysés voire valorisés conjointement avec certains membres du laboratoire EMC.

Concernant les travaux sur le développement d'assistance à la conduite basé sur des interactions homme-machine intégrant un diagnostic d'état du conducteur, il est intéressant de se ressaisir de la notion de calibration précédemment évoquée. Horrey et collaborateurs (2015) proposent un élargissement du cadre conceptuel permettant d'étudier la calibration en conduite automobile afin de montrer le rôle et l'influence que peut avoir l'automate sur les habiletés et les jugements du conducteur (partie gauche de la Figure 20).

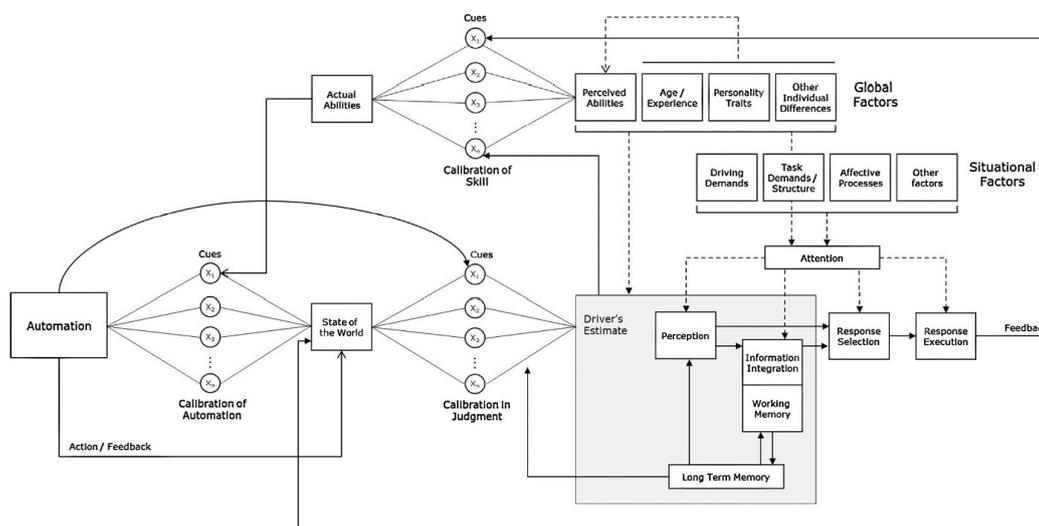


Figure 20 : Cadre conceptuel élargi à l'utilisation d'automates

Lorsque, sur des durées plus ou moins longues, le conducteur utilise un véhicule équipé d'automates, il délègue partiellement ou totalement le contrôle de son véhicule. Ceci change profondément la nature de la conduite et contraint à de nouvelles tâches qui peuvent distraire le conducteur. Cette notion de calibration est particulièrement importante à considérer lorsque l'on s'intéresse aux états dégradés du conducteur. En effet, ce concept est essentiel pour comprendre les accords et désaccords dans le binôme homme-machine et la confiance envers le système automatisé qui en découle chez le conducteur. Les effets pervers des assistances à la conduite qui avaient été pointés par Parasuraman & Riley (1997) que sont les « misuse-abuse-disuse » pourront être bien mieux compris et décrits si on étudie les écarts entre les estimations faites à partir des représentations qui sont élaborées par le conducteur mais aussi par l'automate.

L'avènement du véhicule autonome élargit aussi la palette de la robotique de suppléance. Voici une nouvelle assistance qui devrait permettre d'améliorer l'autonomie des personnes âgées et handicapées. Il conviendra de ne pas laisser ces personnes en marge du développement technologique qui s'annonce. Le véhicule autonome va permettre de développer une offre de transport plus souple et plus individualisée. Cette offre sera particulièrement adaptée aux problématiques du vieillissement et du handicap afin de mieux organiser la mobilité de proximité à l'échelle du bassin de vie. Les opérateurs de transport n'avaient pas toujours eu de succès, la technologie pourrait permettre une avancée importante. Par ailleurs, les technologies de maintenance prédictive, grâce à l'analyse de la manière de conduire, du nombre de kilomètres parcourus, voire des incidents survenus, peuvent alerter l'automobiliste du nécessaire entretien de son véhicule, voire même des réparations futures probables mais pas seulement cela : pourquoi ne pas penser à transférer cette approche pour étudier la maintenance du conducteur ?

5.4 Mettre en œuvre un continuum de mobilité par un continuum d'intervention

La mobilité des personnes âgées revêt un très large spectre : les aires de mobilité et les rayons d'action peuvent être plus ou moins vastes allant de sortir de son lit à pouvoir voyager sur de très longues distances. Les deux extrémités du continuum de mobilité sont donc bien différentes : d'un côté l'individu incapable de sortir de son lit devient immobile et à l'opposé il reste en capacité de voyager fréquemment à travers le monde. La mobilité décroît avec l'âge (Guralnik et al., 1996) et avec le déclin des capacités fonctionnelles (Barberger-Gateau & Fabrigoule, 1997). Aux plus grands âges, préserver la capacité à se déplacer est indispensable pour maintenir son indépendance et son bien-être et une perte de mobilité a souvent des conséquences néfastes sur la santé (voir Ross et al, 2013 pour revue). **Bien vieillir consiste donc à adopter certains compromis visant à réduire très progressivement ses aires de mobilité tout en préservant ses aptitudes et capacités afin de rester autonome le plus longtemps possible.** Afin d'aider nos concitoyens, il sera important de considérer leur trajectoire de vieillissement (Broussy, 2013) afin d'adapter nos interventions en conséquence. La trajectoire de vieillissement contient une phase active, une phase de fragilisation et une phase de dépendance et il est nécessaire d'agir dans ces trois phases afin de prolonger l'autonomie et l'indépendance et proposer des actions qui permettent de remonter d'une phase à l'autre. Nous disposons de quatre clés d'entrée pour cela : les facteurs personnels (capacités, besoins, santé, autonomie...), le cadre de vie, la relation de la personne, la place des proches aidants et des professionnels.

Un très grand nombre d'intervention a été développé pour modifier et maintenir la mobilité de nos aînés. Certains programmes visent à changer les comportements de mobilité, ils incitent par exemple à la réduction volontaire de l'utilisation de la voiture au profit de modes actifs en faisant l'hypothèse que ce changement est bénéfique pour la santé des seniors (Bamberg et al., 2011). D'autres interventions sont proposées à des personnes ayant connu un événement de vie pouvant générer une

rupture dans leur mobilité (e.g. consécutive à un deuil, un accident - de la route, domestique ou de santé, une chute) ou présentant un risque de déclin de leur mobilité en raison d'une baisse de leurs capacités fonctionnelles (e.g. pathologie évolutive). Ces interventions visent à préserver la mobilité des personnes se trouvant dans une situation particulière de fragilité. Dans une récente méta-analyse, trois grandes catégories d'intervention ont été recensées (Roos et al., 2013) : les programmes d'entraînement cognitif ou de remédiation cognitive, les interventions éducatives visant à changer le style de conduite ou le style de vie, et les programmes basés sur des exercices physiques. Il ressort de cette méta-analyse une efficacité différenciée de ces interventions et le besoin de mieux comprendre à quelle personne et à quel moment les proposer.

Les études recensées montrent une efficacité différenciée pour cinq principales raisons : les critères d'inclusion des participants, le contenu des interventions et la durée de l'intervention, les variables de sorties étudiées et les échelles de temps pour le suivi. Ces constatations ont été formulées à la lecture de la méta-analyse de Ross et al., (2013).

1. Selon les études, les interventions ont été proposées à : des volontaires sains, des individus à risque de déclin de leur mobilité (ayant une acuité visuelle dégradée, un champ visuel utile réduit, présentant différentes formes de déclins cognitifs en raison de la survenue d'une pathologie soudaine ou évolutive (troubles de la mémoire, du traitement de l'information, des habilités visuo-spatiales, des fonctions exécutives), présentant de problèmes physiques.
2. Le contenu des interventions est aussi variable, parmi les trois catégories citées précédemment on retrouve : les **interventions cognitives** qui permettent d'entraîner la vitesse de traitement de l'information, la mémoire, les habiletés visuo-spatiales, la prise de décision, les fonctions exécutives (dont la planification, le raisonnement par exemple) ; les **interventions éducatives** connaissances sur les effets du vieillissement, informations sur les évolutions des règles de circulation, promotion de l'utilisation de stratégies adaptatives, conseils individualisé sur les pratiques de conduite ; les **exercices physiques** proposant un entraînement par la marche, la danse, des séances sportives avec augmentation progressive du poids de corps, un travail d'équilibration, de résistance progressive à l'entraînement, des étirement ou du tai-Chi-Shwan et le recours à l'utilisation de plaques vibrantes pour mettre le corps en vibration ; des tâches cognitives sont parfois proposées de manière conjointe afin de complexifier les exercices. Une quatrième catégorie, non citée par Ross et al., 2013, concerne la **réadaptation médicale** (on retrouve par exemple des thérapies suite à des événements de vie particulier : lésions cérébrales acquises non évolutives, syndrome de stress post-traumatique consécutif à une chute).
3. La durée des interventions sera variable et adaptée aux types d'interventions précédemment cités. Elle peut aller de quelques heures à plusieurs mois. L'observance, la compliance ou l'adhésion⁴⁷ par le participant n'est pas toujours étudiée.
4. On retrouve aussi dans ces études deux catégories de variables de sortie très diverses, des variables en lien avec la sécurité routière (comme le nombre de situations critiques rencontrées, les difficultés auto-rapportées, la performance de conduite évaluée par des moniteurs d'auto-écoles ou d'autres experts, les distances parcourues, le nombre d'accidents responsables sur des périodes de suivi de durée variables, l'arrêt de la conduite au cours de périodes elles aussi fluctuantes et d'autres variables en lien avec la mobilité (évaluée de manière auto-rapportée avec des techniques plus ou moins objectivées ou alors mesurée à l'aide de dispositifs plus innovants - avec des données GPS par exemple). Dans la majorité des études, un transfert des bénéfices vers certaines de ces mesures a pu être démontré.

⁴⁷ Ces trois termes sont indifféremment utilisés dans la littérature alors que des nuances doivent exister.

5. Enfin, les bénéfices de ces interventions sont étudiés sur des échelles de temps très variables avec ou sans évaluation immédiate des bénéfices direct post-entraînement. Ces échelles peuvent varier de quelques mois à plusieurs années.

Un travail de concertation sur les méthodes d'évaluation de ces interventions semble nécessaire. Un premier cadre conceptuel a été proposé pour évaluer les programmes d'entraînement de la mobilité (Park et al., in press). Il présente les éléments clés qu'un programme d'intervention doit exposer (ressources pour sa mise en œuvre, activités proposées et éléments pour étudier son rendement), les parties prenantes dans la conception, la réalisation et l'évaluation des interventions, les bénéfices attendus à court, moyen et long termes et les modérateurs et médiateurs pouvant influencer les résultats de l'intervention. Parmi ceux-ci, il me semble important d'accorder une attention particulière à l'étude de la motivation à participer au programme et de l'engagement conséquent. Par ailleurs, la question des ratios coûts/bénéfices devra être mieux explorée. Les participants peuvent aussi souhaiter avoir la possibilité de pouvoir continuer l'entraînement à la maison et/ou de bénéficier de quelques séances de rafraîchissement. Cette option pourrait être ajoutée au cadre conceptuel proposé. Enfin, afin de mieux étudier ces interventions, il sera nécessaire de comprendre par quels mécanismes ces interventions agissent.

Comme évoqué préalablement, la révolution numérique en cours raisonne dans les domaines du transport et de la mobilité et ouvre des perspectives pour l'émergence de solutions innovantes. La conception et la mise en œuvre d'interventions destinées à développer un continuum de mobilité pourrait en être radicalement modifiées. Nous devons embarquer les citoyens vers une réflexion sur leur choix de mobilité et donner aux personnes âgées le pouvoir d'agir, certaines précautions devront être observées : permettre aux personnes d'essayer les interventions afin de les engager dans un processus de changement de comportement afin qu'ils adoptent ensuite des comportements de précaution (Stromberg et al., 2016), et leur permettre de suggérer des modifications afin de raffiner ces interventions (Filippi et al., 2013). Il sera probablement nécessaire de maintenir un dispositif d'accompagnement pour que les bénéfices perdurent. Le foisonnement d'interventions d'ores et déjà proposées est un fantastique bassin d'idées pour élargir les missions des agences de mobilité récemment créées en France.

Les collaborations que j'ai pu établir au niveau international vont me permettre de participer activement au développement d'un continuum de mobilité par la mise au point d'un continuum d'intervention. En collaboration avec Mélanie Levasseur, nous avons cette année proposé un stage à des étudiantes de l'école d'Ergothérapie de Sherbrooke. Ce stage porte sur l'étude de l'impact d'interventions innovantes en ergothérapie visant à accompagner l'évolution des trajectoires de mobilité des aînés. Ce projet de recherche vise à : 1) **explorer la concordance entre les outils d'aide à la mobilité** actuellement utilisés au Québec **et la trajectoire de mobilité des aînés** (c'est-à-dire l'évolution de la mobilité selon les moyens de transport utilisés et les possibles changements en lien avec le lieu de vie, la santé, la famille et les finances) ; 2) **développer et valider un outil d'intervention pour les aînés ayant récemment cessé de conduire leur automobile** afin de favoriser leur acceptation de la situation, de les sensibiliser aux ressources et aux transports alternatifs offerts par leur communes et de prévenir la restriction de leur mobilité et de leur participation sociale. Une recherche évaluative sera utilisée afin de réaliser ces objectifs. À la suite d'une analyse de contenu des outils d'aide à la mobilité recensés et actuellement utilisés au Québec, un forum d'informateurs clés composé d'experts en conduite automobile permettra d'explorer leur concordance avec les trajectoires de mobilité des aînés. Ensuite, deux ou trois autres forums d'informateurs clés permettront de développer un outil proposant diverses alternatives à la conduite automobile pour les aînés ayant récemment cessé de conduire leur automobile. Cet outil sera ensuite validé auprès de 12

ex-conducteurs âgés. Ce projet de recherche permettra une réflexion sur la concordance entre les outils d'aide à la mobilité actuellement utilisés au Québec et les trajectoires de mobilité des aînés.

Dans la même veine, nous avons aussi soumis pour financement au CIHR-IRSC et à l'ANR deux projets complémentaires afin de permettre de développer et tester d'autres innovations sociales (projet « Volet fondation » et projet Restmob). Le Volet fondation a été accepté pour financement par le CIHR-IRSC le 15 juillet 2016. Le projet Restmob n'a pas été retenu pour financement par l'ANR, nous avons pris contact avec deux PME de la région Rhône-Alpes-Auvergne (Nova 7 et Auxilia) afin de retravailler le projet ensemble et de le soumettre lors d'un prochain appel.

Concernant le projet « Volet fondation », des études préliminaires ont démontré la faisabilité et les impacts positifs de trois interventions prometteuses et complémentaires aidant respectivement les organismes communautaires, les professionnels de santé et les municipalités à cibler la santé et la participation sociale: un **Accompagnement Personnalisé d'Intégration Communautaire** (APIC ; Levasseur et al., 2016a), La refonte du style de vie (Life Style Redesign® ; groupe d'intervention sur des routines destinées à préserver la santé avec des ergothérapeutes, Levasseur et al., 2016b) et l'initiative **villes amies des aînés** ou Aged-Friendly-Cities (AFC ; élaboration de politiques, de services et de structures adaptées aux personnes âgées). Ces interventions ont besoin d'autres études afin de mieux évaluer leurs impacts. Au cours des 5 prochaines années, nous allons contribuer à perfectionner ces interventions en évaluant le rapport coût-efficacité et les impacts de l'APIC et du Lifestyle Redesign sur la santé des personnes âgées et la participation sociale. Ces trois interventions seront optimisées et finalement mises en œuvre comme un continuum de renforcement des pratiques de participation sociale réelle à travers le Canada. Les connaissances que j'aurai acquises en ayant la chance de suivre ces projets pourront me permettre de proposer de nouveaux projets en France et en Europe et de contribuer ainsi à la valorisation des travaux de Mélanie Levasseur et à son rayonnement au niveau international.

Le projet Restmob était destiné aux conducteurs âgés. Dans ce projet, il était prévu d'étudier trois innovations sociales complémentaires : 1) un outil de Sensibilisation pour une Conduite Automobile sécuritaire et Responsable (OSCAR ; Levasseur et al., 2014), 2) le programme 55 ans au volant (AARP, 2004) et 3) le programme d'Apprentissage à l'utilisation du Transport en Commun (ATraCo ; Ducharme et al., 2015). Rigoureusement développé par Mélanie Levasseur, l'OSCAR vise à promouvoir et maintenir la mobilité des personnes âgées via une conduite automobile sécuritaire et l'utilisation de stratégies compensatoires. Cet outil permet une amélioration de l'intérêt et des connaissances envers les capacités requises pour une conduite automobile sécuritaire, ainsi qu'une ouverture à la discussion sur les habitudes de conduite et l'utilisation de stratégies compensatoires des conducteurs âgés et de leurs proches. Réalisé en deux rencontres de trois heures animées par des bénévoles, et contribuant ainsi à la création de nouvelles fonctions sociales, le programme 55 ans au volant (AARP, 2004) vise l'acquisition d'informations et le développement des compétences en lien avec l'auto-évaluation, les signes du vieillissement et la conduite dans un environnement dangereux. Les conducteurs ayant suivi le programme auraient des comportements plus sécuritaires à l'approche d'une intersection, tels que freiner plus tôt afin de bien compléter l'arrêt, ainsi qu'effectuer un balayage visuel complet (Bao et al., 2009). Par ailleurs, lorsque combiné à une intervention sur route, ce programme améliorerait les connaissances des pratiques de conduite sécuritaires et la performance de conduite, et réduirait l'obtention de points d'inaptitude lors de déplacements dans les rues, ainsi que pour démarrer, arrêter et reculer (Bédard et al., 2008). Le programme ATRaCo comprend une formation théorique (90 minutes) et pratique (accompagnement personnalisé pour un trajet à partir du domicile de la personne) et permet d'améliorer le degré de confiance et d'aisance, et les connaissances des participants en lien avec l'utilisation du transport en commun (Ducharme et al., 2015).

Ces innovations ont été développées et testées mais on ne connaît pas leurs effets lorsqu'elles sont offertes de façon personnalisée et en contexte réels (prodigué par la communauté et non par la recherche). Dans le projet ANR Restmob nous souhaitons évaluer les effets de ces innovations sociales offertes aux aînés par des bénévoles de la communauté en France et au Québec, sur leur participation sociale, leur mobilité et leur bien-être. Un premier objectif spécifique du projet est de comparer ces effets lorsque les aînés sont soit uniquement informés de la disponibilité de ces innovations (**approche de sensibilisation**) versus guidés et soutenus par un intervenant à l'utilisation de ces innovations sélectionnées en fonction de leurs capacités et leurs besoins (**approche personnalisée**). Cette comparaison permettra de vérifier l'hypothèse de recherche que ces innovations sociales seront davantage et mieux utilisées et auront donc des effets plus importants si les aînés sont guidés et soutenus dans leur utilisation. Un deuxième objectif spécifique est d'explorer les facteurs individuels, organisationnels et environnementaux qui influencent les effets de ces innovations. Ces objectifs permettront de réaliser une avancée considérable des connaissances en mettant en évidence les similitudes et les différences liées aux contextes culturels en France et au Québec.

Un essai à répartition aléatoire aurait permis de vérifier les effets des innovations sociales auprès de deux groupes d'aînés ayant 65 ans et plus, avec un permis de conduire valide et présentant une restriction de leur capacité à réaliser au moins une des activités de la vie domestique suivantes : entretenir la maison, préparer les repas, faire les courses, faire la lessive et utiliser le téléphone. Les participants auraient été recrutés dans les villes de Bron (France) et de Sherbrooke (Québec) et répartis aléatoirement entre le groupe 'approche de sensibilisation' et le groupe 'approche personnalisée', les participants des deux groupes étant interviewés (mode face-à-face) à l'entrée dans l'étude et 12 mois plus tard. Les principales variables mesurées auraient été la mobilité, la participation sociale, le bien-être et l'utilisation des innovations. Les bénévoles qui devaient offrir les différentes innovations sociales et ceux qui auraient guidé les aînés vers ces ressources pour le groupe avec l'approche personnalisée, auraient aussi été interviewés afin de connaître leur appréciation de ces innovations sociales et leur perception des facteurs individuels, organisationnels et environnementaux qui influencent leurs effets. Les effets du programme auraient été examinés à l'aide d'analyses de régression et de méthodes multiniveaux permettant la prise en compte des contextes d'implantation.

Nous ferons notre maximum pour qu'un financement soit trouvé pour ce projet. Sur l'année universitaire 2016-2017, Mélanie Levasseur a prévu deux séjours de trois semaines durant son congé sabbatique. Ces séjours à Lyon seront mis à profit pour rencontrer les partenaires et financeurs potentiels. Nous pourrions aussi proposer une collaboration avec les caisses de retraite (dans le cadre du suivi des retraités, proposer un bilan de santé global et une étude de leur mobilité afin d'identifier l'évolution de leurs besoins et voir comment les satisfaire ; ceci permettrait de développer de nouvelles interventions visant à promouvoir de nouvelles formes de mobilité).

Afin d'élargir nos collaborations internationales, dans le cadre du projet H2020 SeSAMO (projet ayant été sélectionné à la phase 1 et soumis pour expertise fin septembre 2016), j'ai aussi souhaité m'investir dans le « Work Package » 6 coordonné par Anu Siren (SFI, Danemark). Dans ce projet, nous allons recenser les différentes mesures qui peuvent faciliter la transition de la conduite automobile vers d'autres modes de transport lorsque la conduite automobile n'est plus une option sûre en raison d'une déficience cognitive et évaluer la méthode la plus prometteuse. Nous souhaitons en fin de projet élaborer une série de recommandations sur les meilleures pratiques visant à faciliter une transition réussie pour ceux qui ne sont plus en mesure de conduire en toute sécurité.

6. Conclusion générale

Le transport est un besoin élémentaire associé à l'indépendance, l'autonomie et la qualité de vie des personnes. L'accessibilité et le coût abordable des transports sont des enjeux importants pour les aînés puisqu'ils permettent de soutenir leur mobilité. Les personnes âgées doivent pouvoir se déplacer sereinement au sein de leur bassin de vie afin de pouvoir profiter des services qui leur sont proposés et de choisir les activités sociales qui leur correspondent. Dans les années à venir, plusieurs défis sanitaires inédits se présenteront parmi lesquels on retrouve la responsabilisation du citoyen, la mise en place de services innovants et la promotion d'environnements accueillants pour les personnes âgées. Identifier des pistes d'intervention et les évaluer sont des préalables indispensables afin de réunir les conditions permettant aux personnes âgées de demeurer le plus longtemps possible en activité et ainsi favoriser leur qualité de vie et leur bien-être. Pour réussir ces missions, il faut aussi donner aux personnes âgées le « pouvoir d'agir » et les accompagner afin d'atteindre les conditions nécessaires pour préserver leur santé et leur autonomie.

Durant ma carrière trois étapes se sont succédées. A la différence des jeunes chercheurs qui arrivent maintenant au laboratoire déjà formés à la publication, lors de mon début de carrière il y a un peu moins de 15 ans, mon premier quadriennal m'a permis de me familiariser avec l'écriture scientifique. Le second m'a permis de forger mon ancrage disciplinaire autour de deux thématiques fortes. Et le troisième quadriennal m'a permis de pratiquer une ouverture vers des disciplines connexes, d'être plus en lien avec l'action publique et plus proche de l'innovation en développant des collaborations plus vastes. De nouvelles structures fleurissent dans notre paysage comme des agences d'études et de conseil pour les entreprises et les collectivités ou encore des maisons de la mobilité de l'autonomie. Ces structures contribuent grandement au développement et à la promotion d'innovations sociales et d'innovations dans les transports. Il sera impératif de renforcer nos liens avec ces nouveaux partenaires très stimulants, nous pourrons ainsi faire un pas supplémentaire vers l'agir, se tourner vers des actions encore plus collaboratives et évaluer plus facilement les innovations proposées.

Sur cette problématique du vieillissement et de la mobilité, nous avons comme devoir de faire entendre les défis à relever pour que les personnes âgées maintiennent leur mobilité, une santé mentale positive et une bonne qualité de vie avec ou sans permis de conduire. Comme le souligne Stinchcombe et al (2015), la communauté en psychologie de la conduite a un rôle essentiel à jouer : elle s'efforce de soutenir la sécurité, d'évaluer le plus précisément possible la performance de conduite, de faciliter le maintien de la mobilité et d'organiser une transition douce vers la déprise de la voiture lorsque la conduite n'est plus une option raisonnable. L'évaluation de l'aptitude à la conduite doit ainsi être menée de manière pluri-professionnelle. La psychologie de la conduite a beaucoup à apporter au confort des médecins en charge de la prise de décision d'aptitude. Pour un médecin, envisager l'arrêt de la conduite avec son patient et son entourage n'est pas aisé tant cette décision a un impact émotionnel fort pour le conducteur et des conséquences possiblement lourdes pour son entourage. Il est beaucoup plus aisé d'aborder cette discussion avec une tierce personne formée pour accompagner le conducteur dans sa décision. Le psychologue de la conduite pourrait ainsi être un maillon essentiel d'un dispositif permettant au conducteur et à son entourage de choisir les meilleures options de mobilité qui se présentent.

Dans mon projet scientifique, on retrouve mes deux thématiques complémentaires originelles mais elles sont à des niveaux de maturité différents. Dans la première thématique (apport de la psycho-ergonomie à l'étude de la mobilité des séniors), il reste à produire un inventaire critique des interventions qui pourront être proposées aux personnes âgées et/ou handicapées, les évaluer et

développer les arbres de décisions pour faciliter leur utilisation. Pour la seconde thématique (facteurs humains et conduite automobile) - en plein essor avec l'avènement des véhicules automatisés et demain autonomes – les recherches que nous mènerons permettront de promouvoir les trois formes d'agir (l'agir instrumental, l'agir moral et l'agir expressif). Les stratégies de développement de ces thématiques sont différentes : les recherches sur le thème du vieillissement devront être soutenues par une forte dynamique internationale (Québec, Europe) alors que, pour les recherches en neuroergonomie, nous renforcerons tout d'abord notre ancrage au niveau national en cherchant à travailler en collaboration avec l'Institut universitaire Champollion d'Albi et l'ISAE à Toulouse. Les quatre directions de recherche pour lesquelles je détaille des voies de développement dans ce mémoire d'HDR (accompagner la puissance publique sur certaines questions en lien avec la mobilité des seniors et la sécurité routière, mieux prévenir les effets négatifs du vieillissement, ne pas laisser les usagers âgés en marge de la révolution numérique et mettre en œuvre un continuum de mobilité par un continuum d'intervention) vont me permettre de m'investir pleinement dans un travail qui je l'espère sera au bénéfice de notre société.

Quelques éléments supplémentaires sont intéressants à considérer afin d'avoir une vision à plus long terme. Le monde de la santé publique doit passer d'une réflexion purement axée sur la santé à un modèle plus social. Comme cela a été fait au préalable dans le monde du transport, ce secteur doit s'ouvrir à de nouvelles approches et à leurs méthodes pour comprendre et adapter la réponse aux nouveaux défis de société qui nous attendent. S'ouvrir à l'étude de nouveaux déterminants, comme les comportements individuels ou sociaux, les environnements physiques, et travailler avec de nouveaux critères, comme la qualité de vie, le bien-être, mais aussi de nouveaux risques comme le risque d'immobilité sont des pistes à discuter. L'antériorité de certaines recherches en psychologie sociale menées dans le monde des transports, en particulier sur la résistance aux changements de comportements, pourrait permettre d'attaquer de nouvelles questions de recherche en santé avec un regard neuf.

Par ailleurs, Spira (2014), souligne aussi une nouvelle tendance liée à l'usage de données numériques : « on peut désormais collecter et traiter de grandes masses d'indicateurs de santé, recueillies dans des lieux et à des moments différents ». Grâce à cette profusion de données et à leur traitement rendu possible par les ordinateurs, les hypothèses émergent d'elles-mêmes, sans qu'il soit nécessaire de les formuler avant. Voici une révolution qu'il nous faudra accompagner. Comme les coûts liés à la collecte des données vont baisser, nous allons aussi pouvoir plus facilement suivre des cohortes pour comprendre les processus de risque et de résilience. Nous allons aussi pouvoir développer des études interventionnelles pour organiser les systèmes de prise en charge des personnes fragiles. Les apports de l'imagerie cérébrale sont aussi prometteurs. Disposer d'informations sur les bases biologiques du comportement dans des cohortes, où la santé et les caractéristiques de l'environnement sont mesurées de manière répétée, aidera à mieux comprendre les déterminants sociaux et biologiques des trajectoires de santé au cours de la vie sont des perspectives enthousiasmantes. En se tournant vers des problématiques en rapport avec la santé, la recherche portant sur les facteurs humains dans les transports devrait produire des résultats socialement intéressants.

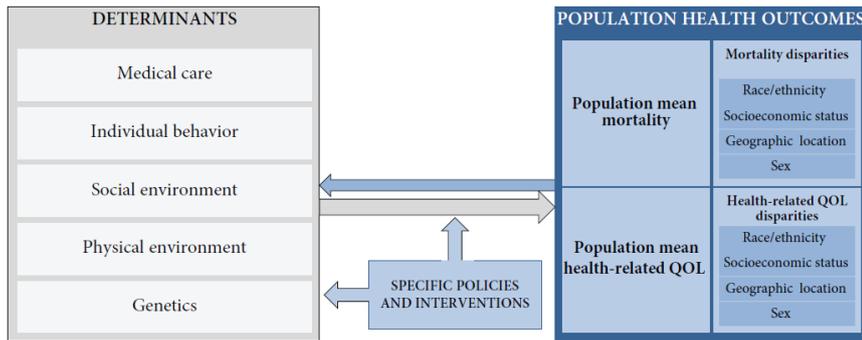


Figure 21 : Représentation schématique pour la planification en matière de santé de la population (d'après Kindig et al., 2008)

Comme annoncé par Jérémy Rifkin, économiste et prospectiviste, nous sommes face à « une troisième révolution industrielle qui marquera l'émergence d'un modèle économique fondé sur le partage et les communautés collaboratives » (Rifkin, 2011). Il s'agit selon lui de la seule solution mondiale à la crise énergétique et économique. Cette économie de partage est donc très importante pour faire face à nos futures dépenses de transport. Collaborons donc pour contribuer au partage des connaissances, des expériences et des idées afin d'offrir à tous nos concitoyens la chance de bien vieillir !

7. Références

1. Amar, G., (2010). Le nouvel âge de la mobilité. *Le monde économie*, 24 septembre 2012.
2. American Association of Retired Persons (AARP, 2004). AARP driver safety program: Volunteer and graduate survey report AARP, Driver Safety Program, Washington, DC.
3. 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.
4. Bakiri S., Galera C., Lagarde, E., Laborey M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon R., Salmi, R., Gabaude, C., Fort A., Maury B., Lemercier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., Orriols L. (2013). Distraction and driving: results from a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. *Accident Analysis & Prevention*, 59: 588-592.
5. 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.
6. 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.
7. Baltes, P. B. (2005). A psychological model of successful aging. Keynote Lecture, 2005 World Congress of Gerontology, Brazil.
8. Bamberg, S., S. Fujii, et al. (2011). Behaviour theory and soft transport policy measures. *Transport Policy* 18(1): 228-235.
9. Bao, S., Boyle, L. N. (2009). Driver safety programs: The influence on the road performance of older drivers. *Transportation Research Record*, 2096, 76-80.
10. Barberger-Gateau, P., Fabrigoule, C., 1997. Disability and cognitive impairment in the elderly. *Disability and Rehabilitation* 19 (5), 175-193.
11. Baslé, M., Malgrange, P. (2006). Aide à la décision publique : présentation générale. *Economie et prévision*, N°175, 1-6.
12. Becker, G. (1992). The economic way at looking at life, Nobel lecture, december 9, 1992, 21p.
13. Bédard, M., Porter, M.-M., Marshall, S., Isherwood I., Riendeau, J. et al. (2008). The Combination of Two Training Approaches to Improve older Adults' Driving Safety. *Traffic Injury Prevention*, 9(1): 70-76.
14. Benard, V (2016). Comment garantir un vieillissement actif et conserver une bonne qualité de vie aux séniors Lillois : rapport de stage en situation. Licence professionnelle Qualité de Vie et Vieillesse, 20p.
15. Biederman, I., Glass, A., Webb, S. (1973). Searching for objects in real-world scenes. *Journal of Experimental Psychology*, 22-27.
16. Blanchard, F. (2004). « Edito », *Gérontologie et société* 2004/2 (n° 109), p. 10-13.
17. Blunck, H., Owsley, C., MacLennan, P. A., & McGwin, G. (2013). Driving with Pets as a Risk Factor for Motor Vehicle Collisions among Older Drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 58, 70-74.
18. Böhle, F., Milkau, B. (1991). De la manivelle à l'écran : l'évolution de l'expérience sensible des ouvriers lors de changements technologiques, Paris, Eyrolles.
19. Braboszcz, C., Delorme, A. (2011). Lost in thoughts: neural markers of low alertness during mind wandering. *Neuroimage*, 54(4):3040-7.
20. Braver, E., & Trempel, R. (2004). Are older drivers actually at higher risk of involvement in collisions resulting in deaths or non-fatal injuries among their passengers and other road users? *Injury Prevention*, 10(1), 27-32.

21. Brelet, L., Moták, L., Ginet, M., Huet, N., Izaute, M., Gabaude, C. (in press). Enhancing older drivers' safety: on effects induced by stereotype threat to older adults' driving performance, working memory and self-regulation. *Geriatrics*, 2016, 1-20. doi:10.3390/geriatrics1030020
22. Bresson M. (2014). « La participation : un concept constamment réinventé. », *Socio-logos. Revue de l'association française de sociologie [En ligne]*, 9, mis en ligne le 24 février 2014, Consulté le 14 septembre 2015. URL : <http://socio-logos.revues.org/2817>.
23. Broussy, L. (2013). L'adaptation de la société au vieillissement de sa population (France : année zéro !). Rapport pour la mission interministérielle sur l'adaptation de la société française au vieillissement de sa population, janvier 2013, 202p.
24. Brown, L. B., Ott, B. R., Papandonatos, G. D., Sui, Y., Ready, R. E., & Morris, J. C. (2005). Prediction of On-Road Driving Performance in Patients with Early Alzheimer's Disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(1), 94–98.
25. Burg, A. (1968). Vision and driving : a summary of research findings (Report 216). Los Angeles : Highway Research Center.
26. Cacciabue, P., Hollnagel, E. (1995). Simulation of Cognition: Applications, In *Expertise and Technology: Cognition and Human-Computer Cooperation*, J.M. Hoc, P.C. Cacciabue, and E. Hollnagel, eds., Lawrence Erlbaum Associates, pp. 55–73.
27. Carr, D., Flood, K., et al. (2006). "Characteristics of frail older adult drivers." *J Am Geriatr Soc* 54(7): 1125-1129.
28. Cassavaugh, N. D., Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics*, 40, 943-52
29. Cerf, J.-E., (2011). Contrôle attentionnel dans la sélection d'informations pertinentes dans des scènes visuelles complexes. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : Sciences Cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 46 p.
30. Chapon, A., Gabaude, C. and Fort, A. (Eds). (2006). *Défauts d'Attention et Conduite Automobile : état de l'art et nouvelles orientations pour la recherche dans les transports*. Les collections de l'Inrets, Synthèse n°52, Paris, France, 143 p.
31. Charlton, J. L., M. Catchlove, Scully, M., Koppel, S., Newstead, S. (2013). "Older driver distraction: A naturalistic study of behaviour at intersections." *Accident Analysis & Prevention* 58: 271-278.
32. Choi, J., Gutierrez-Osuna, R. (2011). Removal of respiratory influences from heart rate variability in stress monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 11(11), 2649-2656.
33. Choi, M., Adams, K.B., Kahana, E. (2013). Self-regulatory driving behaviors: gender and transportation support effects. *Journal of Women Aging*, 25:104-118.
34. 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>
35. Clause, R. (1963). *Les Nouvelles*, Bruxelles, Editions de l'Institut de Sociologie.
36. Council, F., & Allen, J. (1974). A study of the visual fields of North Carolina drivers and their relationship to accidents. Chapel Hill : University of North Carolina, Highway Safety Research Center.
37. Cummings, S.R., Studenski, S., Ferrucci L. (2014). A diagnosis of disability giving mobility clinical visibility: a Mobility Working Group recommendation. *JAMA*; 311: 2061-2062.
38. De Raedt, R., Ponjaert-Kristoffersen, I. (2000). Can strategic and tactical compensation reduce crash risk in older drivers? *Age Ageing*, 29, 517- 21.
39. Dejours, C. (2014). *Le facteur humain*. Collection "Que sais-je ?", PUF.

40. Dellinger, A. M., Kresnow, M.-J., et al. (2004). Risk to self versus risk to others: How do older drivers compare to others on the road?, *American Journal of Preventive Medicine* 26(3): 217-221.
41. Dit-Asse, M. (2015). Régulation de la conduite automobile chez les femmes et les hommes âgés. Thèse de doctorat en épidémiologie, Université Lyon1, Bron, France, 171 p.
42. Dobbs, A. R. (2001). Lessons learned through the development and implementation of an evaluation for medically at-risk drivers. Paper presented at the Road Safety Research, Policing and Education Conference, Melbourne, Victoria.
43. Donmez, B., Boyle, L. N., & Lee, J. D. (2006). The impact of distraction mitigation strategies on driving performance. *Human Factors*, 48(4), 785-804.
44. Dotzauer, M. (2015). Longer-term effects of ADAS use on driving performance of healthy older drivers and drivers diagnosed with Parkinson's disease. Doctor of Philosophy, University of Groningen, [S.I.], 222p.
45. Douissembekov, E. (2009). Effets de l'âge et de la distraction cognitive sur la recherche visuelle d'éléments routiers dans des scènes complexes. Mémoire de seconde année de Master en humanité et sciences humaines, mention sciences cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 28 p.
46. Douissembekov, E. (2014). Analyse des besoins des conducteurs âgés et des adaptations mises en œuvre lors de la réalisation de manœuvres à basses vitesses. Thèse de doctorat mention sciences cognitives, Université Lyon2, Bron, France, 222 p.
47. Douissembekov, E., Gabaude, C., Rogé, J., Navarro, J. Michael, & G.A. (2014). Parking and manoeuvring among older drivers: a survey investigating special needs and difficulties. *Transportation research part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 238-245.
48. Douissembekov, E., Michael, G.A., Rogé, J., Bonhoure, P., Gabaude, C., & Navarro, J. (2015). Effects of shrinkage of the visual field through ageing on parking performance: a parametric manipulation of salience and relevance of contextual components. *Ergonomics*, 58(5), 698-711.
49. Dubois, B. (1996). Lobe frontal et régulation du comportement. In *Attention et contrôle cognitif : mécanismes, développement des habiletés, pathologies*, D. Mellier et A. Vom Hofe (Eds), publications de l'université de Rouen, N°228, 39-49.
50. Ducharme, C., O'Neill, E., Girard, S.-M., Bélair, C., Chagnon, M., Lévasseur, M. (2015). Effets du programme d'apprentissage à l'utilisation du transport en commun (ATraCo) : une étude pré-expérimentale. *Revue Francophone de Recherche en Ergothérapie*, 1(2): 23-44.
51. Duchek, J. M., D. B. Carr, et al. (2003). "Longitudinal driving performance in early-stage dementia of the Alzheimer type." *J Am Geriatr Soc* 51(10): 1342-1347.
52. Duchek, J. M., L. Hunt, et al. (1998). "Attention and driving performance in Alzheimer's disease." *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 53(2): P130-141.
53. Eberhard J. (1996) Safe Mobility for Senior Citizens. *Int Assoc Traffic Safety Serv. Res.*, Vol. 20, pp. 29–37.
54. Ehrlich, J. (2009). Technologies d'assistance à la conduite automobile. *Technique de l'ingénieur, l'expertise technique et scientifique de référence*, se3772.
55. Evans, L. (2000). Risks older drivers face themselves and threats they pose to other road users. *International Journal of Epidemiology*, 29, 315–322.
56. Fabrigoule, C., Clement, J., Coquillat, A., Laumon, B., lafont, S. (2012). Protocole cognitif pour un conseil argumenté en matière de régulation de la conduite automobile chez les seniors. *La revue de gériatrie*, Tome 37, 9, 707-718.
57. Famose, J.P., Durand, M., (1988). Aptitudes et performance motrice, In *Revue EPS* (Ed), 220p.
58. Filippi, F., Fusco, G., Nanni, U. (2012). User Empowerment and Advanced Public Transport Solutions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87, 3-17.

59. 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.
60. Fontaine, H. (2003). Âge des conducteurs de voiture et accidents de la route: Quel risque pour les seniors ? *Recherche - Transports - Sécurité*, 79–80(0), 107-120.
61. Fournel, A. P., Reynaud, E., Brammer, M. J., Simmons, A., Ginestet, C. E. (2013). Group analysis of selforganizing maps based on functional MRI using restricted Frechet means. *NeuroImage*, 76, 373-385.
62. Fournel, A., Reynaud, E. (2011). Exploring whole brain fMRI data with unsupervised artificial neural networks. *IEEE International Workshop on Pattern Recognition in NeuroImaging (PRNI)*, Seoul, Korea.
63. Freund, A. M. et Baltes, P. B. (2002). Life-management strategies of selection, optimization, and compensation : Measurement by self-report and construct validity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82, 642-662.
64. Freund, B., Colgrove, L.A.A. (2008). Error specific restrictions for older drivers: Promoting continued independence and public safety. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 97-103.
65. Gabaude, C. (2001). Contribution à l'étude de la perception visuo-attentionnelle : exploration des effets du vieillissement et développement d'un outil d'aide au diagnostic et de suivi. Thèse de doctorat, mention neurosciences, Bron, France, 247p.
66. Gabaude, C. (2003). Exploration des capacités visuelles et attentionnelles des conducteurs âgés : intérêts et techniques. *Recherche Transport et Sécurité*, n°81, 165-176.
67. Gabaude, C. (2013a). Rapport Final du projet ANR-09-VTT-04 (Assessing Traffic Low Attentional Status), septembre, 29p.
68. Gabaude, C. (2013a). Rapport Final du projet ANR-09-VTT-04 (Assessing Traffic Low Attentional Status), septembre, 29p.
69. Gabaude, C. (2013b). Evaluation de la performance de conduite et mise en évidence d'adaptation comportementale auprès des conducteurs âgés. In X. Zanlonghi & S. Quinton-Fantoni (Eds), *Aptitudes visuelles : l'œil sain, l'œil opéré, l'œil pathologique*. Bulletin des Sociétés d'Ophthalmologie de France, rapport annuel, novembre 2013, 486-488.
70. Gabaude, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.) (2012). *Human Factors: a view from an integrative perspective*. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse, 67-80. ISBN 978-0-945289-44-9. Available from <http://hfes-europe.org>
71. Gabaude, C., Cerf, J.E., Jallais, C., Douissembekov, E., Letisserand, D., Paire-Ficout, L., Michael, G.A. (2011). Effects of aging and cognitive competing task on the setting of the salience-relevance balance in visual search. *Driver Distraction and Inattention Conference*, Gothenburg, Sweden, September 5-7th, 18 p.
72. Gabaude, C., Marquié, J., & Obriot-Claudiel, F. (2010). Self-regulatory behaviour in the elderly: relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Le Travail Humain*, 73(1), 31-52.
73. Gabaude, C., Marquié, J.-C. (2011). Vieillissement, handicap et facteurs capacitants : bilan des activités du GDR Psycho-Ergo et perspectives. In, Hoc, J.-M., Darses, F., (Eds) *Rapport quadriennal 2008-2011 du GDR CNRS 3169 Psycho-Ergo*, décembre, 64p.
74. Gabaude, C., Obriot-Claudiel, F. and Marquié, J.-C. (2007). Conduite automobile et vieillissement : relation entre prise de conscience de ses capacités visuo-attentionnelles et évitement de situations difficiles. *Congrès national de la Société Française de Psychologie*, Nantes, France, 13-15 septembre 2007, pp. 66.

75. Gabaude, C. and Paire-Ficout, L. (2005). Toward a Driving Competency Assessment Encouraging Elderly's Automobility: a french point of view. 3rd international driving symposium on human factors in driver assessment, training and vehicle design, Rockport, Maine, USA, June 27-30, 2005, pp. 318-327.
76. Galéra C., Orriols, L., M'Bailara, K., Laborey, M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon, R., Masson, F. Bakiri, S., Gabaude, C., Fort, A., Maury, B., Lemerrier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., Lagarde, E. (2012). Mind Wandering and Driving. *British medical Journal (BMJ)* 2012;345:e8105, Published 13 December 2012).
77. Giffard, B., Desgranges, B., Kerrouche, N., Piolino, P., Eustache, F. (2003). The hyperpriming phenomenon in normal aging: A consequence of cognitive slowing? *Neuropsychology*, 17, 594–601.
78. Giordano, Y., Jolibert, A., (2012). Spécifier l'objet de la recherche. *Methodologie de la recherche. Réussir son mémoire ou sa thèse en sciences de gestion*, Pearson Education, pp.47-86.
79. Groeger, J.A. (2000). *Understanding driving: applying cognitive psychology to a complex everyday task*. John A. Groeger. Psychology Press, Hove, 254p. ISBN 0-415-18752-4.
80. Guralnik, J.M., Fried, L.P., Salive, M.E. (1996). Disability as a public health outcome in the aging population. *Annual Review of Public Health* 17, 25–46.
81. Gutman, L. M. (2008). Risk and resilience. In L. M. Gutman & R. Akerman (Eds.), *Research report*. London: Centre for Research on the Wider Benefits of Learning, Institute of Education.
82. Hakamies-Blomqvist, L., Johansson, K., Lundberg, C. (1996). Medical screening of older drivers as a traffic safety measure – A comparative Finnish-Swedish evaluation study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 44, 650–653.
83. Hakamies-Blomqvist, L., Raitanen, T., O'Neill, D. (2002). Driver ageing does not cause higher accident rates per km. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(4), 271–274.
84. Hamzat, T. K. and A. Kobiri (2008). Effects of walking with a cane on balance and social participation among community-dwelling post-stroke individuals. *Eur J Phys Rehabil Med* 44(2): 121-126.
85. Hassan, H., King, M., Watt, K. (2015). The perspectives of older drivers on the impact of feedback on their driving behaviours: A qualitative study. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* 28:25–39.
86. Haute Autorité de Santé (2013). Comment repérer la fragilité en soins ambulatoires ? In "Points clés, solutions & organisation des parcours. Juin 2013, 7p.
87. Hay, M. (2016). Apport des outils de réalité virtuelle à la formation continue des conducteurs seniors. Thèse de doctorat spécialité Physiologie, Biologie des Organismes, Populations, Interactions, UFR de Médecine, Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France, 315p.
88. Hay, M., Adam, N., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (in press). Effectiveness of two cognitive training programs on the performance of older drivers with a cognitive self-assessment bias. *European Transport Research Review*. DOI: 10.1007/s12544-016-0207-7
89. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2014). L'immersion sur simulateur de conduite accroît-elle les bénéfices d'un entraînement cognitif dédié aux conducteurs seniors ? Présentation méthodologique. *Recherche Transport et Sécurité*, 30, 245-256.
90. Hay, M., Henriksson, P., Bocca, M.L., Peters, B., Millet, G., Espie, S., Gabaude, C. (2013). Simulator Sickness Syndrome & Older Drivers. *SAFE MOVE for older drivers, project deliverable n°2.5.1*, 33p.
91. Henderson, R., & Burg, A. (1974). *Vision and audition in driving (Final report DOT-HS-801265)*. Santa Monica, CA : Systems Development Corp.

92. Hoc J. M., Charron C., & Milleville-Pennel I. (2009). Cognitive control in car driving: the case of brain-injured drivers. ECCE 2009 - European Conference of Cognitive Ergonomics - ECCE 2009 - European Conference of Cognitive Ergonomics, Finlande.
93. Hoc, J.M., Amalberti, R. (2007). Cognitive Control Dynamics for Reaching a Satisficing Performance in Complex Dynamic Situations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1, 22-55.
94. Hoc, J.-M., Darses, F., (2011). Rapport quadriennal 2008-2011 du GDR CNRS 3169 Psycho-Ergo, décembre, 64p.
95. 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.
96. Humphreys, G. (2012). *Bulletin de l'OMS*, 90 (2), février 2012, 77-156.
97. Hupet, M., Nef, F. (1994). Vieillissement cognitif et langage. In M. Van der Linden & M. Hupet (Eds.), *Le vieillissement cognitif*, paris, PUF, 141-176.
98. Hussler, C., Rondé, P. (2006). Biais cognitifs et choix technologiques : une analyse des priorités des experts français. *Economie et prévision*, N°175, 65-78.
99. Itti, L. and C. Koch (2000). "A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention." *Vision Res* 40(10-12): 1489-1506.
100. Jacqmin-Gadda, H., Fabrigoule, C., Commenges, D., et al. (1997). A 5-Year Longitudinal Study of the Mini-Mental State Examination in Normal Aging. *American Journal of Epidemiology*;145:498-506.
101. Jallais, C., Paire-Ficout, L. and Gabaude, C. (2009). Objects localization in road scenes: effects of aging and cognitive distraction. Young researcher seminar ECTRI-FERSI-FEHL, Torino, Italie, June 3-5 2009, 12 p.
102. Johnson, C., & Keltner, J. (1983). Incidence of visual field loss in 20 000 eyes and its relationship to driving performance. *Arch. Ophthalmol.*, 101, 371-375.
103. Jonnaert, P., Barrette, J., Boufrahi, S., Masciotra, D. (2004). Contribution critique au développement des programmes d'études : compétences, constructivisme et interdisciplinarité. *Revue des Sciences de l'Education*, Volume 30, numéro 3, p. 667-696.
104. Kaiser, J., Beauvale, A., & Bener, J. (1996). The evoked cardiac response as a function of cognitive load in subjects differing on the individual difference variable of reaction time. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 56(1), 209-213.
105. Kindig, D.A., Asada, Y., Booske, B. (2008). A population health framework for setting national and state health goals. *JAMA*, 299(17), 2081-2083.
106. Koppel, S., J. Kuo, et al. (2015). Examining physiological responses across different driving maneuvers during an on-road driving task: a pilot study comparing older and younger drivers. *Traffic Inj Prev* 16: 225-233.
107. 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
108. 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.
109. Lafont S, Paire Ficout L, Gabaude C, Hay M, Bellet T, Paris J-C, Chavoix C, Marin-Lamellet C, Fabrigoule C. (2015). SAFE MOVE for older drivers : pour une mobilité sûre des conducteurs âgés. In : *Vieillissement de la population et transport*. In Direction de la Recherche et de l'Innovation du MEDDE, La Documentation Française (ed), p121-141.
110. Lafont, S. (2013). Les conducteurs seniors et la sécurité routière : aspects épidémiologiques. Colloque sécurité routière, 26ième entretiens Jacques Cartier, 26 et 27 novembre, Lyon, France.

111. Lafont, S. and B. Laumon (2003). Vieillesse et gravité des atteintes lésionnelles des victimes d'accident de la circulation routière. *Recherche - Transports - Sécurité* 79-80: 121-133.
112. Lafont, S., Gabaude, C., Paire-Ficout, L., & Fabrigoule, C. (2010). Des conducteurs âgés moins dangereux pour les autres : étude des accidents corporels en France entre 1996 et 2005. *Le Travail Humain*, 73(1), 75-92.
113. 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.
114. Lafont, S., Marin-Lamellet, C., Paire-Ficout, L., Thomas-Anterion, C., Laurent, B., & Fabrigoule, C. (2010a). 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.
115. Lafont, S., Paire-Ficout, L., Gabaude, C., Fabrigoule, C. (2014). Dix propositions de mesures pour baisser l'accidentologie des personnes âgées, réponse à une demande du comité des experts du Conseil nationale de Sécurité Routière, 12p.
116. Langford, J., Bohensky, M., Koppel, S., & Newstead, S. (2008). Do age-based mandatory assessments reduce older drivers' risk to other road users? *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1913-1918.
117. Langford, J., Methorst, R., & Hakamies-Blomqvist, L. (2006). Older drivers do not have a high crash risk - A replication of low mileage bias. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 574-578.
118. Lazarus, R., Folkman, S.(1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer; New York, 456p.
119. Le Carret, N., S. Lafont, et al. (2003). "The effect of education on cognitive performances and its implication for the constitution of the cognitive reserve." *Dev Neuropsychol* 23(3): 317-337.
120. Lemercier, C. Pêcher, C., Berthié, G., Valéry, B., Vidal, V., Paubel, P.V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., Gabaude, C., Lagarde, E., Maury, B. (2014). Inattention behind the wheel: how factual internal thoughts impact attentional control while driving. *Safety Science*, 62, 279-285.
121. Levasseur, M., Audet, T., Gélinas, I., Bédard, M., Renaud, J., Coallier, J.-C., Langlais, M.-E., Therrien, F.-H. (2014). Outil de sensibilisation des conducteurs âgés aux capacités requises pour une conduite automobile sécuritaire et responsable (OSCAR) : développement et validation. *Recherche Transport et Sécurité*, 04, 257-269.
122. Levasseur, M., Desrosiers, J., St-Cyr Tribble, D. (2008). Do quality of life, participation and environment of older adults differ according to level of activity? *Health and Quality of Life Outcomes*, 6:30.
123. Levasseur, M., Gauvin, L., Richard, L., Kestens, Y., Daniel, M., Payette, H. & NuAge Study Group (2011). Associations between perceived proximity to neighborhood resources, disability, and social participation among community-dwelling older adults: results from the VoisiNuAge study. *Arch Phys Med Rehabil*. 92(12), 1979-86.
124. Levasseur, M., Larivière, N., Lévesque, M.-H., Filiatrault, J., Provencher, V., Sirois, F., Parisien, M. et al. (2016b). The french version of the Lifestyle Redesign intervention: validation for french-speaking older adults. 1st Joint Congress of the Council of Occupational Therapists for European Countries and European Network of Occupational Therapy in Higher Education (COTEC-ENOTHE 2016), Galway, Ireland.
125. Levasseur, M., Lefebvre, H., Levert, M., Lacasse-Bédard, J., Desrosiers, J., Therriault, P., Tourigny, A., Couturier, Y., Carbonneau, H. (2016a). Personalized citizen assistance for social participation (APIC): A promising intervention for increasing mobility, accomplishment of social activities and frequency of leisure activities in older adults having disabilities. *Arch Gerontol Geriatr*, 64, 96-102.

126. Levasseur, M., Raymond, E., Sevigny, A., Tourigny, A. (2012). La participation sociale des aînés : la parole aux aînés et aux intervenants. Institut national de santé publique du Québec, Institut sur le vieillissement et la participation sociale des aînés de l'Université Laval, Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale et Centre d'excellence sur le vieillissement de Québec du Centre hospitalier affilié universitaire de Québec, 53 pages.
127. Levasseur, M., Richard, L., Gauvin, L., Raymond, É. (2010). Inventory and analysis of definitions of social participation found in the aging literature: Proposed taxonomy of social activities. *Social Science & Medicine*, vol.71, n°12: p.2141-2149.
128. Levasseur, M., Vanasse, A., Courteau, J., Généreux, M., Cohen, A., & Kestens, Y. (2012). Favoriser la participation sociale et la santé de la population vieillissante grâce aux enquêtes populationnelles et à la géomatique : un exemple d'une initiative méthodologique possible. *Médecine Sciences Amériques*, 4, 55–61.
129. Liang, Y., Reyes, M. L. and Lee, J. D., (2007). Real-time detection of driver distraction using Support Vector Machines. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 2, 340-350.
130. Lucidi, F., L. Mallia, et al. (2014). Personality and attitudes as predictors of risky driving among older drivers. *Accident Analysis & Prevention* 72: 318-324.
131. Macinko, J., D. Silver, et al. (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.
132. Mackette, R., Brown, B. (2011). Transport, physical activity and health: present knowledge and the way ahead. Scanning Study commissioned by the Department for Transport, London, Great Britain, 2011; 146p.
133. Maillant, J. (2016). Inattention et automatisation : déceler l'inattention au volant pour faciliter la reprise en main d'un véhicule automatisé. Mémoire de première année de master en Sciences humaines et sociales. UF : mathématiques. Mention : sciences cognitives et ergonomie. Spécialité : sciences cognitives. Université de Bordeaux, France, 27p.
134. Malin, S. (2016). Influence du vagabondage de la pensée sur la prise d'information visuelle en conduite automobile. Mémoire de seconde année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : sciences cognitives, spécialité : sciences cognitives fondamentales, Finalité : recherche. Ecole Normale Supérieure de Lyon, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 53 p.
135. Marin-Lamellet, C. and S. Haustein (2015). "Managing the safe mobility of older road users: How to cope with their diversity?" *Journal of Transport & Health* 2(1): 22-31.
136. Marin-Lamellet, C., Paire-Ficout, L., Lafont, S., Amiéva, H., Laurent, B., Thomas-Anterion, C, et al. (2003). Mise en place d'un outil d'évaluation des déficits d'attentionnels affectant les capacités de conduite au cours du vieillissement normal et pathologique : l'étude Sérovie. *Recherche Transports et Sécurité*, 81, 177-189.
137. 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 Anal. Prev.*, 41(1), 90-97.
138. Marquié, J.-C. & Gabaude, C. (2010). Aging, Transportation and Mobility: Current Issues. *Le Travail Humain*, 73(1), 1-5.
139. Marquié, J.C. (1993). Vieillesse cognitive, expérience et contraintes de l'environnement. Thèse d'état, Toulouse, université paul Sabatier, 132p.
140. Marquié, J.-C., & Isingrini, M. (2001). Aspects cognitifs du vieillissement normal. In Aubert,, E. & Albaret, J.M. (Eds.), *Vieillesse et psychomotricité*. Marseille : Solal, pp. 77-113.

141. Marshall, S. C. (2008). The role of reduced fitness to drive due to medical impairments in explaining crashes involving older drivers. *Traffic Inj Prev* 9(4): 291-298.
142. Masson, M. (2011). Rééducation des processus attentionnels - approche sur simulateur de conduite : application au traumatisme crânien et au vieillissement normal. Thèse de doctorat en neuropsychologie, université lyon 2, Bron, France, 309p.
143. Michael, G.A, Lété, B., & Ducrot, S. (2013). Trajectories of attentional development: an exploration with the Master Activation Map Model. *Developmental Psychology*, 49, 615-631.
144. Michael, G.A., Fernandez, D.N., & Vairet, A. (2007). Capture attentionnelle en vision : la pertinence, la saillance et la balance cortico-sous-corticale. In G. A. Michael, *Neuroscience cognitive de l'attention visuelle* (pp. 165-201). Marseille: Solal.
145. Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should be do. In I.A. Evans & R. Schwing (Eds.), *Proceedings of the international Symposium on Driver Behavior and Traffic Safety*. General Motors Research Laboratories (pp. 485-520). New-York: Plenum Press.
146. Miller, G.A. (2003). The cognitive revolution: a historical perspective. *Trends in cognitive sciences*, 7 (3), 141-144.
147. Moták, L. (2011). L'apport des théories métacognitives à l'étude de l'autorégulation chez les conducteurs âgés. Thèse de doctorat mention psychologie cognitive, Université Lyon2, Bron, France, 178 p.
148. 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.
149. Moták, L., Huet, N., Gabaude, C., & Bougeant, J.-C. (2012). Older Drivers' Self-Regulation: Discrepancy Reduction or Region of Proximal Learning? *Psychology and Aging*, 27(4), 1164-1171.
150. OECD (2001). *Ageing and Transport*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. <http://www.oecd-ilibrary.org/content/book/9789264195851-en>
151. Organisation Mondiale de la Santé (2002). *Vieillir en restant actif Cadre d'orientation*. Madrid, Espagne. http://www.who.int/ageing/active_ageing/en/
152. Papa, M., Boccardi, V., Prestano, R., Angellotti, E., Desiderio, M., et al. (2014). Comorbidities and Crash Involvement among Younger and Older Drivers. *PLoS ONE* 9(4): e94564.
153. Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 39(2), 230-253.
154. Parasuraman, R., Rizzo, M., (2006). *Neuroergonomics: the brain at work*. Edited by Raja Parasuraman and Matthew Rizzo. Oxford series in Human technology interaction, Oxford university press, New-York, USA, 430p.
155. Paris, J.C., Bellet, T., Cour, M., Marin-Lamellet, C., Deleurence, P., Moreau, F., Boverie, S., Andre, J.-M., Claverie, B. (2014). Driving assistances for senior drivers: a human centered design approach. TRA Conference, June 15-18, Paris, 10p.
156. Park, S.-H., Welch, E.-W., Sriraj, P.-S. (in press). An Integrative Theory-Driven Framework for Evaluating Travel Training Programs. *Evaluation and program planning*.
157. Pêcher, C. & Lemerrier, C. (2011?). Induced sadness and spatial attention: Evidence for a deficit in the orienting of attention related to sadness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, ???.
158. Pêcher, C., C. Quaireau, et al. (2011). The effects of inattention on selective attention: How sadness and ruminations alter attention functions evaluated with the Attention Network Test. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology* 61(1): 43-50.

159. Penelaud, O. (2010). Le paradigme de l'énaction aujourd'hui : apports et limites d'une théorie cognitive révolutionnaire. *Plastir*, 1, 18.
160. Pépin, G. (2015). Vers la détection de l'effort cognitif du conducteur à partir de mesures physiologiques. Mémoire de seconde année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : psychologie, spécialité : psychologie cognitive et neuropsychologie, parcours : psychologie cognitive recherche. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 63 p.
161. Pépin, G., Jallais, C., Fort, A., Moreau, F., Navarro, J., Gabaude, C. (in press). Towards real-time detection of cognitive effort in driving: contribution of cardiac measurement. *Le travail Humain*.
162. Pochet, P., Corget, R. (2010). Entre "automobilité", proximité et sédentarité, quels modèles de mobilité quotidienne pour les résidents âgés des espaces périurbains ? *Espace populations sociétés* [En ligne], 2010/1. URL : <http://eps.revues.org/4604>
163. Poulter, D. R. and J. P. Wann (2013). Errors in motion processing amongst older drivers may increase accident risk. *Accident Analysis & Prevention* 57: 150-156.
164. Prochaska, J. O., & DiClemente, C. C. (1982). Transtheoretical therapy: Toward a more integrative model of change. *Psychotherapy: Theory, Research & Practice*, 19(3), 276-288.
165. Rakotonirainy, A., D. Steinhardt, et al. (2012). Older drivers' crashes in Queensland, Australia. *Accident Analysis & Prevention* 48: 423-429.
166. Ranchet, M. (2011). Effet de la maladie de Parkinson sur la conduite automobile : Implication des fonctions exécutives. Thèse de doctorat en neuropsychologie, université Lyon 2, Bron, France, 247p.
167. Ranchet, M., Akinwuntan, A. E., Tant, M. et al. (2015b). Agreement Between Physician's Recommendation and Fitness-to-Drive Decision in Multiple Sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 96 (10):1840-1844.
168. Ranchet, M., Akinwuntan, A. E., Tant, M. et al. (2016a). Fitness-to-drive agreements after stroke: medical versus practical recommendations. *European Journal of Neurology*
169. Ranchet, M., Tant, M., Akinwuntan, A. E. et al. (2015a). Comorbidities in drivers with Parkinson disease. *Journal of the American Geriatrics and Society*
170. Ranchet, M., Tant, M., Akinwuntan, A. E. et al. (2016b). Fitness-to-drive disagreements after dementia. *The Gerontologist*
171. Rapport OMS (1999). Vieillesse : transcender les mythes. Programme Vieillesse et Santé, Organisation Mondiale de la santé, 24p.
172. Raymond, É, Sévigny, A, Tourigny, A. (2011). La participation sociale des aînés dans une perspective de vieillissement en santé : Réflexion critique appuyée par une analyse documentaire. *La santé de l'homme*, 411: 25-28.
173. 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*.
174. 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*.
175. 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>
176. Richer, I., Bergeron, J. (2012). Differentiating risky and aggressive driving: further support of the internal validity of the Dula Dangerous Driving Index. *Accid Anal Prev* 45: 620-627.

177. Rifkin, J. (2011). *La troisième révolution industrielle: Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde. Les liens qui libèrent (pour la traduction française)*.
178. Rogé, J., Paire-Ficout, L., Gabaude, C., Motak, L., & Marin-Lamellet, C. (2009). New trends in road traffic safety research on senior drivers. In S. Paterson & L. Allan (Eds.), *Road Traffic: Safety, Modeling, and Impacts: New-York, USA*. NOVA Science Publishers, 312-345.
179. Ross, L. A., Schmidt, E., & Ball, K. K. (2013). Interventions to Maintain Mobility: What Works. *Accident Analysis and Prevention*, 61, 167-196.
180. 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.
181. Rueda, R., Pozuelos, J., Combita, L. (2015). Cognitive neuroscience of attention: from brain mechanisms to individual differences in efficiency. *AIMS Neuroscience*, 2(4), 183-202.
182. Saidi, F. (2016). *Mesures de la participation sociale, de la qualité de vie et de la mobilité des personnes âgées : analyse de la sensibilité des outils existants*. Mémoire de première année de master en Sciences humaines et sociales, mention : psychologie, spécialité : psychologie cognitive et neuropsychologie. Université Lyon 2, France, 37p.
183. Salthouse, T.A. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions in working memory and speed of processing. *Psychological Science*, 2, 179-183.
184. Schulteis, M.T., Manning, K.J. (2011). Neuroscience and older drivers. *Handbook of traffic psychology*, chapter 10, 127-136.
185. Sen, A. (1998). The possibility of social choice, Nobel lecture, december 8, 1998, 38p.
186. Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2015). The Science of Mind Wandering: Empirically Navigating the Stream of Consciousness. *Annual Review of Psychology*, 66(1), 487-518.
187. Spira, A. (2014). *Epidémiologie : au carrefour de la statistique*. 50 ans, chercheur en santé depuis 1964. *Science et santé*, septembre-octobre 2014, 21, 44-45.
188. Staplin, L., Lococo, K., Gish, K., & Decina, L. (2003). *Model driver screening and evaluation program final technical report: Vol. 2. Maryland Pilot Older Driver Study (Report No. DOT HS 809 583)*. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
189. Stinchcombe, A., Odenheimer, G., Bédard, M., (2015). Managing safety and mobility needs of older drivers. In *Psychology and geriatrics*, B. Bensadon (Ed), Chapter 7, 135-152.
190. Strömberg, H., Rexfelt, O., et al. (2016). Trying on change – Trialability as a change moderator for sustainable travel behaviour. *Travel Behaviour and Society* 4: 60-68.
191. 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(3), 337-346.
192. Taylor, B. D., Tripodes, S. (2001). The effects of driving cessation on the elderly with dementia and their caregivers. *Accident Analysis & Prevention*, 33(4), 519-528.
193. Uc, E. Y., Rizzo, M., Anderson, S. W., Sparks, J. D., Rodnitzky, R. L., & Dawson, J. D. (2006). Driving with distraction in Parkinson disease. *Journal of Neurology*, 67(2), 1774-1780.
194. Ulleberg, P., Rundmo, T. (2003). Personality, attitudes and risk perception as predictors of risky driving behaviour among young drivers. *Safety Science*, 41, 427-443.
195. Van der Linden, M., Brédart, S., & Beerten, A. (1994). Age-related differences in updating working memory. *British Journal of Psychology*, 85, 145-152.
196. Varela, F., Thompson, E., Rosch, E. (1996). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, 1991, MIT Press.
197. Verdonschot, M. M., L. P. de Witte, et al. (2009). Community participation of people with an intellectual disability: a review of empirical findings. *J Intellect Disabil Res* 53(4): 303-318.
198. Wang, C., Carr, M.D., et al. (2004). *Older driver safety: a report from the older drivers project*. *JAGS*, 52: 143-149.

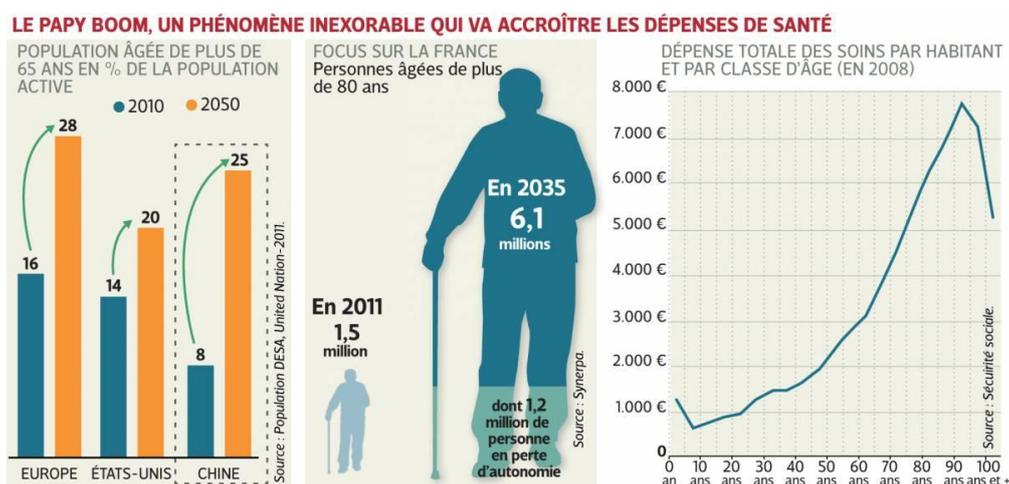
199. Wang, J.-S., Knipling, R. R., Goodman, M. J. (1996). The role of driver inattention in crashes: New statistics from the 1995 Crashworthiness Data System. In 40th Annual proceedings of the association for the advancement of automotive medicine (p. 377–392).
200. Weinstein, N. D. (1988). The precaution adoption process. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 7(4), 355-386.
201. Whelihan, W. M., DiCarlo, M.A., et al. (2005). The relationship of neuropsychological functioning to driving competence in older persons with early cognitive decline. *Arch Clin Neuropsychol* 20(2): 217-228.
202. Wisner, A. (1994). La cognition et l'action situées : conséquences pour l'analyse ergonomique du travail et l'anthropotechnologie. In *Compte rendu du XIIe congrès de l'association internationale d'ergonomie*, Toronto, Canada.
203. Withaar, F., Brouwer, W., van Zomeren, A. (2000). Fitness to drive in older drivers with cognitive impairment. *J Int Neuropsychol Soc* 6:480–90.
204. Zanlonghi, X., Quinton-Fantoni, S. (2013). Aptitudes visuelles - l'œil sain, l'œil opéré, l'œil pathologique. *Rapport annuel de la société d'ophtalmologie de France*, BSOF Edition, 496p.

8. Annexes

Annexe 1 : Les données de santé qui doivent nous interpeller

Conséquences du vieillissement sur l'organisation des soins de santé

Le vieillissement de la population va avoir des conséquences importantes en matière d'organisation des soins de santé. Les projections démographiques mentionnent qu'en France, d'ici 2035, le nombre de personnes de plus de 80 ans aura été multiplié par 4 et 1,2 millions de personnes seront en perte d'autonomie (Figures 22b). Il est ainsi capital de trouver des solutions pour permettre aux citoyens de rester autonome le plus longtemps possible et faire reculer l'entrée en dépendance. En effet, le nombre de personnes dépendantes devrait doubler voire tripler d'ici 2025 (OCDE, 2009). Ces projections peuvent être plus ou moins alarmistes si on se place dans des scénarios d'expansion ou de compression des incapacités pour nos aînés. Il faut donc réfléchir collectivement à des scénarios de compression des incapacités. Offrir une offre de mobilité adaptée fait partie des leviers essentiels pour faire reculer l'entrée en dépendance.



Figures 22 a, b, c : Changements démographiques et impacts sur le système de santé

Si l'on observe l'évolution de la dépense annuelle totale en soins de santé en fonction de la classe d'âge (Figures 22c), son allure exponentielle et les sommes atteintes au-delà de 80 ans interrogent. Plusieurs équipes ont étudié l'impact que va avoir cette arrivée massive d'octogénaire sur notre système de santé et en particulier sur son équilibre financier. De nombreux travaux contradictoires ont été produits en raison d'une très grande diversité des méthodes d'étude employées. L'OMS a décidé de piloter un travail de synthèse sur les prévisions qualitatives des dépenses publiques de santé associées au vieillissement en travaillant sur des projections entre 2010 et 2060 (Die et al., 2013) : en supposant que les dépenses de santé par personne et par classe d'âge soient constantes sur la période étudiée et que les coûts unitaires des soins soient inchangés, il semblerait qu'au niveau Européen les augmentations projetées des dépenses de santé publique en raison du vieillissement soient modestes et devraient diminuer à compter des années 2030. Les soins de santé devraient donc rester abordables pour les populations vieillissantes.

Cependant, même si le vieillissement ne devrait pas entraîner des coûts supplémentaires substantiels, les systèmes de prise en charge des seniors (soins de santé, services sociaux, soins à long terme et protection sociale) doivent s'adapter au vieillissement de la population et proposer de nouvelles

initiatives pour maintenir les personnes âgées en santé le plus longtemps possible. Une grande série sur la santé et le vieillissement a été publiée dans *The Lancet* (Novembre, 2014). Dans ce numéro, il est mentionné que si les systèmes de santé ne trouvent pas des stratégies efficaces pour résoudre les problèmes auxquels la population vieillissante est confrontée dans le monde, la charge croissante des maladies chroniques aura de lourdes répercussions sur la qualité de vie des personnes âgées ; les politiques de santé publique doivent aussi être plus compréhensives et répondre aux besoins, aux capacités et aux aspirations des personnes âgées (Beard et al., 2014).

Le déclin des capacités fonctionnelles est inéluctable avec le vieillissement. Cependant, de nombreuses interventions permettent d'agir pour le ralentir et éviter de passer sous le seuil d'incapacité (Figure 23). Ces interventions peuvent agir dès le plus jeune âge, à l'âge adulte et lors de la vieillesse. Lorsque le seuil d'incapacité est franchi, il est très difficile de regagner les capacités fonctionnelles suffisantes pour redevenir autonome. Des interventions peuvent néanmoins être mises en place pour améliorer la qualité de vie.

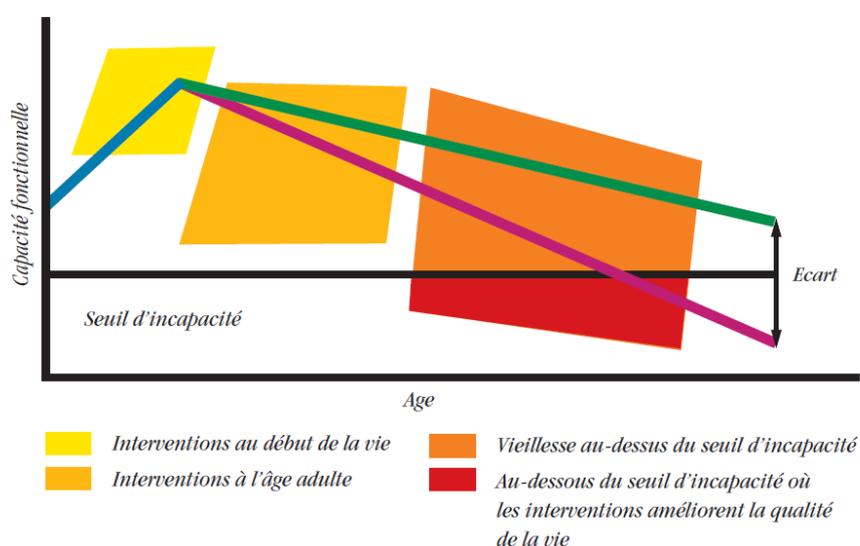


Figure 23 : Représentation schématique du déclin des capacités fonctionnelles

Dans leur immense majorité, les personnes âgées ne sont pas fragiles et restent en bonne santé jusqu'à un âge avancé, elles conservent une grande capacité fonctionnelle (rapport OMS, 1999). Compte tenu du vieillissement de la population, le repérage précoce de la fragilité chez les personnes âgées est devenu un impératif social. Un questionnaire simple et rapide d'utilisation a été validé pour une utilisation en soins ambulatoires et l'extension de son utilisation aux soins primaires est à l'étude (Figure 24 ; HAS, 2013). Ceci permet de repérer la population qui doit bénéficier d'actions préventives. Par la suite, les gériatres devront, pour ces individus, identifier les déterminants de leur fragilité et proposer des actions pour agir sur ces déterminants afin de retarder la dépendance et prévenir la survenue d'événements défavorable. De telles actions permettent d'agir avant l'événement aigu. Lorsque celui-ci survient néanmoins, il importe de réagir vite avant l'apparition du seuil d'incapacité.

PROGRAMMATION HÔPITAL DE JOUR D'ÉVALUATION DES FRAGILITÉS ET DE PRÉVENTION DE LA DÉPENDANCE

Patients de 65 ans et plus, autonomes (ADL ≥ 5/6), à distance de toute pathologie aiguë.

REPÉRAGE			
	Oui	Non	Ne sait pas
Votre patient vit-il seul ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre patient a-t-il perdu du poids au cours des 3 derniers mois ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre patient se sent-il plus fatigué depuis ces 3 derniers mois ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre patient a-t-il plus de difficultés pour se déplacer depuis ces 3 derniers mois ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre patient se plaint-il de la mémoire ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre patient a-t-il une vitesse de marche ralentie (plus de 4 secondes pour parcourir 4 mètres) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Si vous avez répondu OUI à une de ces questions :

Votre patient vous paraît-il fragile : OUI NON

Si oui, votre patient accepte-t-il la proposition d'une évaluation de la fragilité en hospitalisation de jour : OUI NON

Figure 24 : Outil de repérage de la fragilité (utilisé en soins ambulatoires)

Dans ce questionnaire on voit apparaître le premier signe d'un trouble de la mobilité (lorsque la vitesse de marche est inférieure à un m/s ; Cummings et al., 2014). Les troubles de la mobilité surviennent en parallèle à la notion de fragilité. La perte de la mobilité est une charge importante pour la personne, son entourage (famille, proches et amis) et la société dans son ensemble. En effet, il devient nécessaire d'accéder à de nouveaux services de mobilité et de mettre en place un accompagnement très souvent individuel pour aller vers une meilleure prise en charge. Lorsque des solutions adaptées sont mises en places, elles peuvent considérablement améliorer la qualité de la vie des personnes fragiles.

Nécessaire changement d'attitude envers les personnes âgées

Le débat mondial sur les coûts liés à la prise en charge de nos populations vieillissantes s'est focalisé sur les coûts des retraites et des soins de santé des personnes âgées et non sur le maintien et l'importance de l'apport économique des citoyens âgés à la société. Il y a une dizaine d'années, un tableau alarmiste a été dépeint par certains économistes :

« Les conséquences économiques du vieillissement et de la réduction concomitante de la population active européenne sont nombreuses. Ces phénomènes affectent la croissance économique, l'épargne, l'investissement et la consommation, mais également le marché du travail, le financement des retraites et les dépenses de santé et plus généralement l'attractivité du pays » (Florence Huart, éditorial de la lettre Jean Monnet, n°10, juin 2004).

Les projections faites par de nombreux économistes ont été élaborées à partir de l'évolution des ratios de dépendance (nombre d'inactifs rapporté au nombre d'actifs dans la population). Comme le mentionne le rapport OMS (1999), ces travaux ont concouru à la propagation d'un mythe mentionnant que les personnes âgées sont en général économiquement dépendantes et donc un fardeau pour la société. Ceci a contribué à donner une représentation délétère du vieillissement alors que les faits montrent qu'il en est bien autrement. Les personnes âgées jouent un rôle important dans des activités non rémunérées (aide aux actifs, agriculture, bénévolat, volontariat). De nombreuses économies dépendent de leurs activités mais peu d'entre elles sont prises en compte dans l'évaluation des

activités économiques nationales, qui ignorent et sous-évaluent souvent le rôle joué par les citoyens âgés.

Une forme d'âgisme s'est aussi installée. De très nombreuses personnes ont des préjugés ou un comportement discriminatoire envers des personnes ou des groupes en raison de leur âge. L'opposition jeunes/vieux est admise dans la société et dans le monde du travail l'âge de départ à la retraite obligatoire en est le témoin (le salarié étant souvent considéré comme moins dynamique et par conséquent moins valorisé). Cependant, dans beaucoup de sociétés traditionnelles les personnes âgées sont respectées en tant qu'« aînés » et sont garantes du transfert du savoir, des connaissances et des valeurs. Les stéréotypes véhiculés dans nos sociétés contemporaines vont empêcher la pleine participation sociale de nos aînés car à tort on pense qu'elles représentent un fardeau social.

Repenser le vieillissement

Les normes contemporaines du vieillissement font référence à toute une déclinaison de termes autour de plusieurs substantifs : actif, productif, réussi, en santé, optimal, positif ou bien vieillir. Pour le promoteur des travaux autour de l'index de vieillissement actif, ces expressions sont équivalentes car elles ambitionnent toutes de transformer les représentations délétères du vieillissement comme déclin au profit d'une vision positive (Fernández-Ballesteros, 2008).

Il ne faut cependant pas oublier que notre capacité à bien vieillir va dépendre de nombreux facteurs. Comme nous l'avons vu dans la Figure 23, les capacités fonctionnelles se développent au cours des premières années de vie, atteignent un pic au début de l'âge adulte et déclinent naturellement ensuite. Le rythme de ce déclin est, en partie, déterminé par notre comportement et notre exposition aux risques tout au long de notre vie, qu'il s'agisse de notre alimentation, de l'exercice physique pratiqué ou notre exposition aux risques sanitaires (tabagisme, alcoolisme, ou exposition à des substances toxiques). Pour être actif après 60 ans, il est essentiel d'être en bonne santé ce qui peut s'opérer tant en bénéficiant de soins de santé primaires qu'en menant une vie saine. Par ailleurs, il est aussi nécessaire d'aller vers une meilleure prise en charge des maladies chroniques, du diabète, de l'hypertension et du cancer.

L'index de vieillissement actif

Dans le but d'évaluer la politique en matière de vieillissement actif et de solidarité entre les générations, un outil d'étude a été mis au point. La Commission européenne, la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe et le Centre européen de recherche en politique sociale de Vienne ont présenté pour la première fois lors de la cérémonie de clôture de l'Année Européenne 2012 l'Indice de Vieillesse Actif (traduction de Active Ageing Index – AAI) (European Centre Vienna, 2013).



Figure 25 : Les quatre dimensions et 24 domaines de l'index de vieillissement actif

Cet indice est un outil statistique qui permet de comparer l'état du vieillissement actif des personnes de cinquante-cinq ans et plus, entre les différents pays d'Europe. Il est calculé en fonction de vingt-deux indicateurs se divisant en quatre dimensions qui sont : l'emploi, la participation à la société, la capacité de vivre de façon autonome et en bonne santé, et les possibilités offertes par l'environnement d'avoir un vieillissement actif (Figure 2). Les trois premières dimensions reflètent l'expérience actuelle du vieillissement des seniors tandis que la quatrième traduit les possibilités qui s'offrent à eux pour vieillir activement. Une note entre zéro et 100 est établie et comparée au sein des pays de l'UE. Une note de 100 est irréaliste elle représente la plus haute attente (haute participation sur le marché du travail et dans la société). Elle permet d'estimer la contribution des seniors à la vie sociale et économique du pays à partir d'enquête à domicile.

Pour chacune des dimensions, la moyenne arithmétique pondérée des indicateurs est calculée. L'indice de vieillissement actif global est ensuite calculé comme la moyenne arithmétique pondérée des indices spécifiques à un domaine. Avec une note de 35,7/100, la France se situe au 9^{ème} rang en matière de vieillissement actif pour sa population. Cet outil s'avère très utile pour que chaque pays de l'union européenne identifie ses points forts et les domaines dans lesquels il est nécessaire d'investir pour améliorer le vieillissement de sa population.

Figure 1: Ranking of 28 EU Member States on the basis of the 2014 Active Ageing Index (using the overall index, for men and women together)

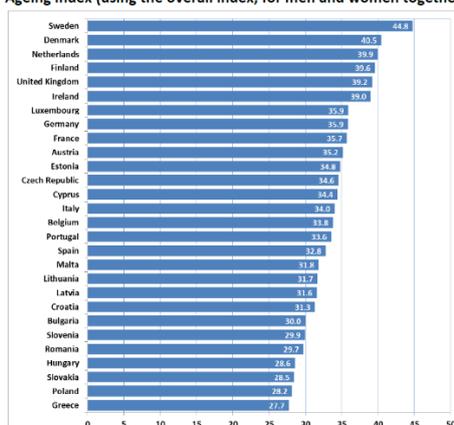
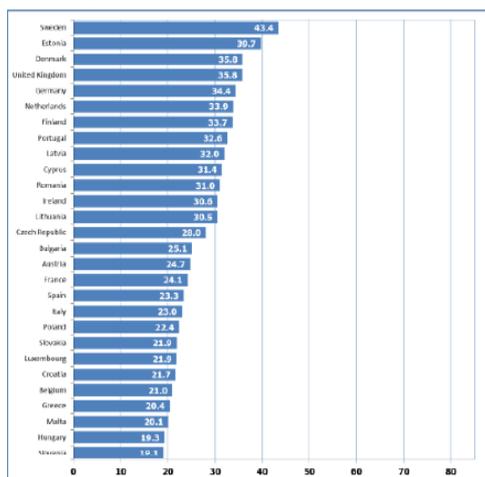


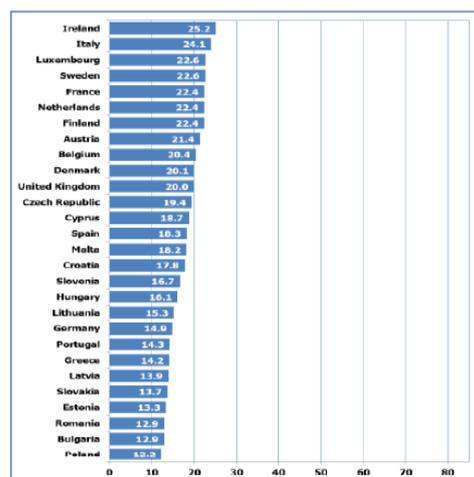
Figure 26 : Comparaison des Index de Vieillissement Actif au sein des 28 pays de l'Union Européenne

Lorsque l'on regarde les valeurs de l'index par dimension (Figure 27), il est ainsi facile d'identifier celles sur lesquelles il semble facile d'agir rapidement afin d'améliorer globalement la situation (dimensions 2 et 4) et celles sur lesquelles la disparité interroge (dimensions 1 et 4). En effet, les valeurs de participation sociale sont globalement basses. Elles sont comprises entre 12 et 25/100, la France se situant au 5^{ème} rang. La disparité des notes relatives aux environnements capacitants interroge sur l'égalité des chances au sein de l'Union Européenne. Quant à l'emploi des seniors, le débat dépasse largement le périmètre de ce travail d'HDR mais la 17^{ème} place de la France atteste des changements nécessaires qui doivent s'opérer dans le monde de l'entreprise.

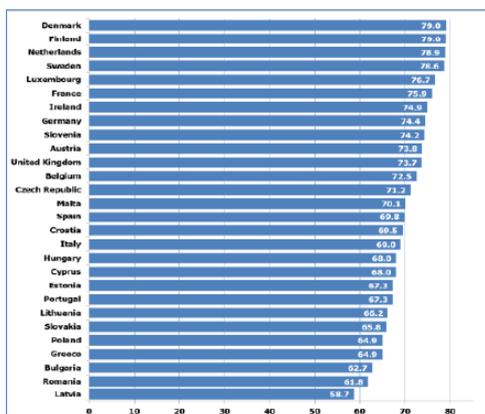
1. Employment



2. Social participation



3. Independent, healthy and secure Living



4. Capacity and enabling environment for active ageing

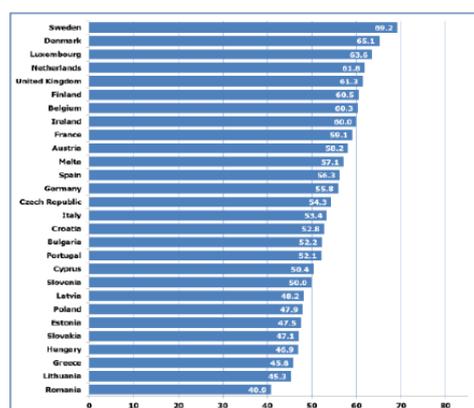
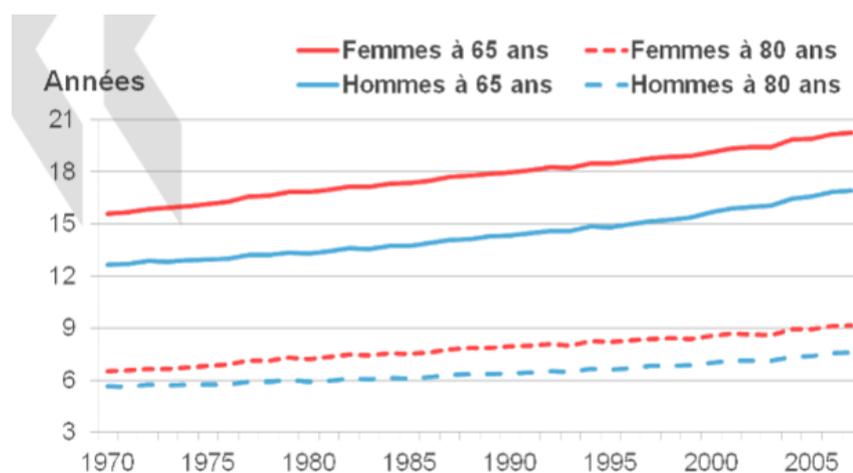


Figure 27 : Comparaison, par dimension, des Index de Vieillesse Actif au sein des 28 pays de l'Union Européenne

Des données en santé doivent nous alerter

Même si l'espérance de vie des hommes est inférieure à celle des femmes, elle s'est allongée de la même manière pour tous au cours des 40 dernières années (Figure 28). Nous vivons vieux plus longtemps. Il faut ainsi arriver à maintenir nos seniors en santé plus longtemps et leur donner la possibilité de faire ce dont ils ont envie et, dans la mesure du possible, ce dont la société a besoin. Les sociétés doivent ainsi s'adapter à cette évolution démographique. Certains auteurs avancent même qu'une bonne adaptation peut devenir un avantage compétitif pour les pays qui sauront « engranger les dividendes non négligeables de la longévité» (Rapport Silver Economy, Bernard et al., 2013).



Source: Panorama de la santé 2009, OCDE.

Figure 28 : Evolution de l'espérance de vie

Cependant, derrière cette figure encourageante se cache une réalité plus préoccupante. Bien que l'espérance de vie s'allonge, l'espérance de vie sans incapacités amorcerait en France un déclin inédit et inattendu (Cambois et Robine, 2012). Pour expliquer ce phénomène, les auteurs mentionnent les mauvaises habitudes de vie développées ces dernières années : baisse de l'activité physique, altération du régime alimentaire, consommation de tabac. Malheureusement, cette tendance se confirme, la hausse de la fréquence des maladies chroniques et la baisse de la qualité de vie seraient en passe de devenir un défi majeur pour la santé publique (Suzman et al., 2014). Le secteur des transports doit donc aborder globalement cette problématique en s'interrogeant sur la contribution qu'il peut apporter afin de ne pas entrer dans des scénarios d'expansion des incapacités.

Afin d'inverser cette tendance et d'améliorer la qualité de vie des seniors, il convient d'agir sur les facteurs favorisant la longévité en santé. Parmi ces facteurs, la mobilité est une ressource essentielle qui permet de lutter contre la déprise. Cette mobilité doit pouvoir se réduire progressivement, la mobilité de loisir se réduisant au profit de la mobilité de proximité permettant de maintenir autonomie et qualité de vie. Afin de comprendre les leviers sur lesquels il est possible d'agir, plusieurs thèmes doivent être abordés de manière pluridisciplinaire : comprendre les déterminants de la mobilité individuelle, les liens entre mobilité, santé et économie, mobilité et territoires, mobilité et politiques publiques. Comme il est mentionné dans la lettre d'information n°5 du GDR Longévité et Vieillesse, les acteurs politiques n'ont pas encore évalué l'enjeu social des mobilités sur le maintien à domicile. Il est temps de développer des politiques de soutien à la mobilité afin de pouvoir anticiper sur l'inéluctable perte d'autonomie.

Annexe 2 : Arrêté et sa circulaire

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'intérieur

Arrêté du

relatif à l'examen psychotechnique prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite

NOR :

Publics concernés : candidats au permis de conduire, titulaires du permis de conduire, commissions médicales chargées de l'évaluation médicale des conducteurs et des candidats au permis de conduire, médecins agréés pour le contrôle médical de l'aptitude à la conduite consultant hors commission médicale, psychologues chargés de l'évaluation psychotechnique des conducteurs et des candidats au permis de conduire, préfets de département.

Objet : fixer les modalités d'habilitation des psychologues chargés de l'évaluation psychotechnique des conducteurs et des candidats au permis de conduire et le contenu de l'examen psychotechnique.

Entrée en vigueur : le texte entre en vigueur le lendemain de sa publication au Journal officiel, à l'exception du « C » du « I » et du « B » du « II » de l'article 1.

Notice : divers examens complémentaires peuvent être prescrits au conducteur dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite, dont un examen psychotechnique. Dans certains cas, cet examen est obligatoire (demande de permis après annulation ou invalidation, atteinte involontaire à l'intégrité d'une personne s'accompagnant d'une incapacité totale de travail).

Le décret n° 2016-39 du 22 janvier 2016 portant application de l'article L. 224-14 du code de la route a étendu cette obligation aux suspensions de permis de conduire d'une durée égale ou supérieure à six mois. Ce décret a également supprimé le mécanisme de l'agrément préfectoral requis pour l'évaluation psychotechnique des conducteurs.

Le présent arrêté fixe de nouvelles modalités d'habilitation des psychologues chargés de l'évaluation psychotechnique des conducteurs et détermine les préconisations techniques requises pour les tests utilisés, clarifiant et unifiant ainsi les exigences requises dans ce domaine.

Enfin, une formation spécifique pour les psychologues ainsi qu'une procédure de validation des tests psychotechniques sont également prévues dont la mise en œuvre a volontairement été différée afin de prendre le temps d'en préciser le contenu et les contours.

Références : le présent arrêté peut être consulté sur le site Internet Legifrance à l'adresse suivante : <http://www.legifrance.gouv.fr>.

La ministre des affaires sociales et de la santé et le ministre de l'intérieur,

Vu la loi n° 2002-303 modifiée du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé, notamment son article 57 ;

Vu le code de la route, notamment ses articles L. 223-5, L. 224-14, R. 224-21, R. 224-22 et R. 226-1 à R. 226-4 ;

Vu le décret n° 90-255 modifié du 22 mars 1990 fixant la liste des diplômes permettant de faire usage professionnel du titre de psychologue ;

Vu l'arrêté du 21 décembre 2005 modifié fixant la liste des affections médicales incompatibles avec l'obtention ou le maintien du permis de conduire ou pouvant donner lieu à la délivrance de permis de conduire de durée de validité limitée ;

Vu l'arrêté du 12 juillet 2012 modifié relatif à la mise en place d'un traitement de données à caractère personnel dénommé ADELI de gestion de l'enregistrement et des listes départementales de certaines professions et usages de titres professionnels ;

Vu l'arrêté du 31 juillet 2012 modifié relatif à l'organisation du contrôle médical de l'aptitude à la conduite.

Arrêtent :

Article 1

I. – A. – L'examen psychotechnique, lorsqu'il est prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite des conducteurs et des candidats au permis de conduire, est réalisé par un psychologue inscrit au répertoire « Automatisation DEs Listes », ADELI.

B. – Toute personne souhaitant organiser ce type d'examen adresse une déclaration à cet effet aux préfets des départements dans le ressort desquels elle souhaite exercer cette activité.

C. – L'examen psychotechnique des conducteurs et des candidats au permis de conduire est subordonné au suivi d'une formation spécifique dont l'exigibilité et les modalités font l'objet d'un arrêté conjoint du ministre chargé de la sécurité routière et du ministre chargé de la santé.

II. – A. – L'examen psychotechnique, dont la durée ne peut être inférieure à 40 minutes, comprend un entretien individuel, ainsi qu'un ou plusieurs tests psychotechniques destinés à vérifier la bonne adéquation entre les comportements et les habiletés des conducteurs.

B. – Les tests utilisés répondent aux préconisations prévues en annexe du présent arrêté et font l'objet d'une liste établie après avis de l'institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux, l'IFSTTAR.

Cette liste est publiée par arrêté conjoint du ministre chargé de la sécurité routière et du ministre chargé de la santé.

Article 2

I. – La déclaration en vue de réaliser l'examen psychotechnique prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite est réputée régulièrement enregistrée à l'issue d'un délai de deux mois à compter de sa réception par le préfet, sauf si dans cette période le demandeur est invité à compléter sa demande ou s'il est informé expressément du rejet de celle-ci.

II. – Le préfet met fin à l'exercice de l'activité dans les cas suivants :

1° lorsque les préconisations requises pour l'examen, son déroulement et son compte rendu ne sont pas respectées ;

2° lorsque le déclarant omet de signaler tout changement en lien avec sa situation professionnelle ou son activité dans un délai de quinze jours ;

3° pour tout autre motif, en lien avec la situation du demandeur ou son activité, de nature à remettre en cause la fiabilité de l'examen ou les conditions normales de son déroulement.

III. – Le préfet en informe au préalable le déclarant afin qu'il puisse être en mesure de faire valoir ses observations. Ce dernier dispose alors d'un délai de quinze jours minimum pour ce faire.

Article 3

I. – L'usager est informé de l'obligation de se soumettre à un examen psychotechnique dans les cas où celui-ci est requis en application des dispositions du code de la route.

II. – L'examen psychotechnique réalisé dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite n'est pas pris en charge par l'assurance maladie.

Article 4

Les dispositions du « B » du « II » et du « C » du « I » de l'article 1 entrent en vigueur respectivement au plus tard dans un délai d'un an et de deux ans à compter de la publication du présent arrêté au Journal officiel.

Les psychologues titulaires d'un agrément préfectoral disposent d'un an à compter de la publication du présent arrêté au Journal officiel pour se mettre en conformité avec ses dispositions et notifier au préfet du département dont ils relèvent les dispositions prises dans ce cadre sous peine de perdre le bénéfice de leur agrément.

Article 5

Le directeur général de la santé et le délégué à la sécurité et à la circulation routières sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le

La ministre des affaires sociales et de la santé
Pour la ministre et par délégation,
Le directeur général de la santé,

B. VALLET

Le ministre de l'intérieur,
Pour le ministre et par délégation,
Le délégué à la sécurité et à la circulation
routières,

E. BARBE

Préconisations pour l'entretien individuel et les tests psychotechniques requis dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite

L'examen psychotechnique comprend un entretien individuel et la passation de tests psychotechniques.

I. – L'entretien individuel doit permettre d'aborder les points suivants :

- 1° la situation du conducteur (son histoire, sa situation familiale et professionnelle, sa santé, son hygiène de vie) ;
- 2° ses usages d'un véhicule motorisé soumis à la détention d'une autorisation de conduire (enjeux professionnels, personnel et sociaux) ;
- 3° l'état de son véhicule (type et état : assurance, contrôle technique) ;
- 4° son appropriation du code de la route et le respect des règles et sanctions ;
- 5° une confrontation aux faits ayant justifié la sanction ;
- 6° sa motivation à une réhabilitation.

II. – A. – Les tests psychotechniques utilisés doivent répondre aux critères suivants :

- 1° être accessibles aux personnes ne maîtrisant pas ou mal la langue française ;
- 2° être accessibles aux personnes souffrant de troubles des apprentissages (dyslexie, dysphasie et dyspraxie) ;
- 3° être accessibles aux personnes sourdes et malentendantes ;
- 4° être facilement utilisables et n'exiger aucune connaissance particulière en informatique pour l'utilisateur ;
- 5° permettre de mesurer des données objectives ;
- 6° être standardisés et étalonnés auprès des populations concernées, valides, fidèles et consensuels.
- 7° permettre de prédire la performance de conduite

B. – Ils doivent en outre permettre l'exploration de divers champs de l'activité psychomotrice en lien avec la conduite tels que :

- 1° les capacités visuo-attentionnelles ;
- 2° la vitesse de traitement de l'information et la vitesse de réaction ;
- 3° la capacité de coordination des mouvements et les fonctions exécutives (inhibition, raisonnement, planification).

C. – Les tests peuvent être réalisés sur tout support dès lors que les préconisations mentionnées ci-dessus sont respectées.

III. – A. – À partir des éléments recueillis lors de l'entretien et des tests, le psychologue doit être en mesure de réaliser une analyse croisée des différentes attitudes observées :

- 1° face à la situation d'examen (respect des consignes, adaptation face aux situations nouvelles, réactions en cas de difficultés et d'erreurs) ;
- 2° lors de la confrontation aux faits.

B. – Ces éléments doivent être rapportés dans le compte rendu d'examen et aboutir à une conclusion :

- 1° avis favorable ;
- 2° avis favorable avec restriction ;
- 3° avis défavorable.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'intérieur

Délégation à la sécurité et à la circulation
routièresSous-direction de l'éducation routière et du
permis de conduire

Bureau du permis de conduire

Instruction durelative à l'examen psychotechnique prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la
conduite

NOR :

<i>Résumé :</i>	<p><i>La présente instruction complète l'arrêté relatif à l'examen psychotechnique prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite publié à la suite du décret n° 2016-39 du 22 janvier 2016 pris en application de l'article L. 224-14 du code de la route.</i></p> <p><i>Cette instruction comporte trois annexes consacrées au formulaire de déclaration de l'activité, aux modalités de son enregistrement, ainsi qu'au déroulement de l'examen psychotechnique.</i></p>
<i>Références :</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>articles L. 224-14, R. 224-21, R. 224-22 et R. 226-1 et suivants du code de la route ;</i> - <i>arrêté relatif à l'examen psychotechnique prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite ;</i> - <i>Note d'information du 5 février 2016 ;</i> - <i>Note d'information du 10 mars 2016.</i>
<i>Annexes :</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Formulaire de déclaration d'exploitation d'un cabinet ou d'un centre d'évaluation psychotechnique des conducteurs et des candidats au permis de conduire ;</i> - <i>Modalités d'enregistrement de la déclaration ;</i> - <i>Déroulement de l'examen psychotechnique.</i>

Le ministre de l'intérieur

à

Monsieur le préfet de police et Mesdames et Messieurs les préfets de département

L'obligation pour les conducteurs de se soumettre à des tests psychotechniques dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite a été instaurée pour les usagers sollicitant un permis de conduire après une mesure d'annulation, par l'article L. 15 de l'ordonnance n° 58-1216 du 16 décembre 1958 qui a institué le code de la route.

Cette obligation a été étendue aux usagers sollicitant un nouveau permis après une mesure d'invalidation par la loi n° 89-469 du 10 juillet 1989 qui a créé l'article L. 11-5 du code de la route.

Les articles L. 15 et L. 11-5 ont été remplacés, respectivement, par les articles L. 224-14 et L. 223-5 par la loi n° 2003-495 du 12 juin 2003 renforçant la lutte contre la violence routière. Cette loi a étendu l'obligation de se soumettre à un examen psychotechnique aux conducteurs à l'origine d'une incapacité totale de travail ou d'un homicide involontaire causés, notamment, par négligence ou manquement à une obligation de sécurité. En outre, elle a introduit la possibilité d'imposer un examen psychotechnique en cas de suspension de permis de conduire pour une durée fixée par un décret pris en Conseil d'État.

Cette durée a été fixée à six mois ou plus par le décret n° 2016-39 du 22 janvier 2016. Ce décret a également supprimé le mécanisme de l'agrément requis pour réaliser les tests psychotechniques. L'arrêté relatif à l'examen psychotechnique prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite, en précise les modalités.

Dorénavant, seuls les psychologues affiliés au répertoire ADELI pourront exercer cette activité. J'ai souhaité que les modalités d'habilitation de ces derniers soient allégées afin que le traitement des demandes s'en trouve facilité pour vos services. L'agrément est ainsi remplacé par une simple déclaration. J'ai également insisté pour que l'accent soit mis sur la pertinence et la fiabilité des tests qui pourront être utilisés à l'avenir.

La présente instruction, qui complète cet arrêté, fixe un cadre uniforme et opérationnel à la fois pour l'instruction des demandes de déclaration, mais également pour le déroulement de l'examen psychotechnique.

Je vous remercie de bien vouloir en assurer la plus large diffusion et de m'informer des difficultés éventuelles que son application pourrait générer, sous le présent timbre.

Le Magistrat,
Délégué à la sécurité et à la circulation routières

Emmanuel BARBE

Annexe 1

Formulaire de déclaration en vue de réaliser l'examen psychotechnique prévu dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite

- DÉCLARATION D'ACTIVITÉ
 RENOUVÈLLEMENT (*Merci de ne renseigner que les champs 1.1, 2 et 7*)
 - MODIFICATION (*Merci de ne renseigner que les champs 1.1, 2, 6 et 7*)

1. Déclarant (personne morale)

1.1. Identité :

Nom ou raison sociale :

N° SIREN, SIRET ou RCS :

Adresse du siège social :

Code postal :

Ville :

N° de téléphone(s) :

N° de télécopie :

Adresse électronique ou site Internet :

1.2. Forme

- Entreprise individuelle
 Société
 Association

2. Le représentant de la personne morale

2.1. État civil

NOM, Prénom :

Date de naissance :

Lieu de naissance :

2.2. Coordonnées :

Adresse :

Code postal :

Ville :

N° de téléphone(s) :

Adresse électronique :

3. Adresse du ou des locaux professionnels exploités

Adresse	Communes

4. Présentation succincte des tests psychotechniques utilisés

Editeur	
Support	
Description	
Champs explorés	

5. Nom et numéro ADELI des psychologues intervenants			
Nom	prénom	N° ADELI	Adresse complète

6. Modifications en lien avec la situation du demandeur ou l'activité
(cocher la case correspondante en tant que de besoin)

Changement en lien avec la situation du déclarant (*Veillez préciser*) :

Changement en lien avec l'activité (*Veillez préciser*) :

Je soussigné(e), le représentant du déclarant, atteste sur l'honneur que les renseignements de la présente demande sont exacts.
Je suis informé que toute fausse déclaration entraînera la caducité de la présente demande et m'exposera aux sanctions prévues à l'article 441-6 du code pénal.

Date : _____ Signature : _____

Cadre réservé à l'administration

Déclaration complète
Initiales de l'instructeur : _____
Date : _____

Déclaration incomplète
Initiales de l'instructeur : _____
Compléments demandé le : _____

3/3

Annexe 2 : modalités d'enregistrement de la déclaration

I. – La déclaration prévue en annexe 1 est adressée à l'autorité administrative compétente par voie postale ou dématérialisée, accompagnée des justificatifs suivants :

1° Pour le déclarant :

- a) *récépissé de déclaration d'une entreprise individuelle libérale à l'URSSAF*
- b) *récépissé d'immatriculation au registre du commerce et des sociétés (extrait Kbis) ;*
- c) *ou récépissé d'inscription au greffe du tribunal de commerce ou du tribunal d'instance pour les psychologues exerçant dans les départements du Bas-Rhin, du Haut-Rhin ou de la Moselle dans le cadre d'une société civile ;*
- d) *un exemplaire des statuts de la société ;*
- e) *pour les associations, mandat de son représentant accompagné d'une copie des statuts et de la déclaration de l'association au Journal officiel ;*
- f) *récépissé d'enregistrement au répertoire ADELI de chaque psychologue évaluateur.*

2° Pour son représentant :

- a) *justificatif d'identité ;*
- b) *titre de séjour en cours de validité pour les ressortissants étrangers ;*
- c) *justificatif de domicile de moins de trois mois.*

3° Tests psychotechniques utilisés :

- a) *modèles types de comptes rendus d'examen illustrant un avis favorable, un avis défavorable et un avis favorable avec restriction.*

II. – La liste des centres d'examen psychotechnique pour l'aptitude à la conduite est publiée sur le portail Internet de la préfecture.

Elle comporte :

- a) le nom du cabinet, de l'association ou la raison sociale de l'entreprise ;
- b) le nom de son représentant ;
- c) le cas échéant, les noms et prénoms des psychologues évaluateur ;
- d) l'adresse du ou de ses centres d'activité dans le département ;
- e) les coordonnées téléphoniques et l'adresse électronique du cabinet ou de l'établissement.

Annexe 3 : déroulement de l'examen psychotechnique
--

I. – L'examen psychotechnique est un examen complémentaire à l'évaluation de l'aptitude médicale à la conduite qui doit permettre à un psychologue, à l'issue d'un entretien et par la passation de tests, d'apprécier la qualité du compromis adopté entre la vitesse et la précision des réactions psychomotrices, ainsi que la coordination des mouvements et l'efficacité des fonctions exécutives.

Il permet également d'explorer les champs du comportement et de la cognition qui sont en relation avec la conduite d'un véhicule motorisé et de déceler les troubles du comportement pouvant impacter la conduite.

II. – Le compte rendu de l'examen psychotechnique doit, notamment, permettre d'éclairer l'avis de la commission médicale ou du médecin agréé consultant hors commission médicale notamment sur la capacité de l'usager à gérer les risques routiers auxquels il s'expose.

III. – Le compte rendu, daté et signé, mentionne :

- 1° les nom, prénom, date et lieu de naissance de l'usager ;
- 2° la date de l'examen psychotechnique ;
- 3° le nom de la commission médicale ou du médecin agréé prescripteur ;
- 4° le nom du psychologue évaluateur ;
- 5° son numéro ADELI ;
- 6° le nom ou la raison sociale du cabinet ou de l'établissement dans lequel il exerce.

IV. – A. – Le compte rendu comporte un argumentaire étayant la conclusion qui se traduit par un avis favorable, favorable avec restriction ou défavorable.

B. – Le cas échéant, il mentionne si un examen psychotechnique complémentaire est souhaitable. Celui-ci ne peut intervenir au-delà d'un délai de deux mois après l'examen initial.

C. – La commission médicale ou le médecin agréé peuvent prescrire ce nouvel examen et attendre la transmission du compte rendu de celui-ci ou rendre leur avis au vu du compte rendu de l'examen initial s'ils l'estiment suffisant.

V. – Le compte rendu est remis à l'usager à l'issue de l'examen ou transmis à ce dernier dans un délai qui ne peut excéder 15 jours.

VI. – A. – La commission médicale et le médecin agréé ne sont pas liés par l'avis émis par le psychologue. Si besoin, ils peuvent requérir un autre avis.

B. – Il n'est utilisable que dans le cadre du contrôle médical de l'aptitude à la conduite pour lequel ledit examen a été demandé.

VII. – Il est valable six mois et a une portée nationale.

VIII. – La régularité des examens réalisés n'est pas affectée par la cessation d'activité du cabinet ou de l'établissement dans le cadre duquel il a été réalisé.

Annexe 3 : Synthèse des recommandations HAS


SYNTHÈSE DE LA RECOMMANDATION DE BONNE PRATIQUE

Reprise de la conduite automobile après une lésion cérébrale acquise non évolutive

Janvier 2016

En France, près de 300 000 personnes par an sont nouvellement victimes de lésions cérébrales acquises non évolutives (traumatisme crânien (TC), accident vasculaire cérébral (AVC), et autres lésions cérébrales acquises non évolutives (encéphalite, anoxie cérébrale, méningo-encéphalite).

La réglementation française impose à tout titulaire d'un permis B, de faire contrôler son aptitude médicale à la conduite, dès lors qu'une ou plusieurs fonctions nécessaires à cette activité sont touchées. Ce contrôle est réalisé par un médecin agréé par la préfecture qui est seul habilité à donner un avis d'aptitude qui est ensuite transmis au Préfet, pour décision. Ce contrôle peut favoriser la reprise de la conduite automobile, en proposant des aménagements du poste de conduite.

Les textes réglementaires imposent l'obligation d'un contrôle médical après un accident vasculaire cérébral. Ils ne l'imposent aux TC et autres lésions cérébrales acquises non évolutives, que dans le cas d'un retentissement sur les fonctions nécessaires à l'activité de conduite.

Cette recommandation définit, pour les personnes victimes de lésions cérébrales acquises non évolutives qui souhaitent continuer à conduire, et au regard des impératifs réglementaires en lien avec l'aptitude médicale à la conduite automobile :

- les modalités de repérage
- les modalités de l'évaluation
- l'accompagnement à mettre en place tout au long du parcours de soins.

En l'absence de littérature de fort niveau de preuve, chaque recommandation est avant tout fondée sur un accord d'experts

IL EST CONSEILLÉ DE REPRENDRE LA CONDUITE AUTOMOBILE APRÈS...	
TC léger	- Un délai de 24 h
TC modéré à sévère	- Une évaluation pluriprofessionnelle des capacités de conduite automobile - Une consultation auprès du médecin agréé par la préfecture (obligation réglementaire)
AVC mineur sans prise en charge rééducative après hospitalisation initiale	- Un délai minimum de 15 jours - Un repérage des troubles visuels, sensitifs, moteurs, cognitifs et/ou comportementaux (réalisé par un médecin du parcours de soins ou par le médecin agréé par la préfecture) - Une consultation auprès du médecin agréé par la préfecture (obligation réglementaire)

IL EST CONSEILLÉ DE REPRENDRE LA CONDUITE AUTOMOBILE APRÈS...	
AVC modéré à sévère avec prise en charge rééducative après hospitalisation initiale	<ul style="list-style-type: none"> - Un délai minimum d'un mois - Une évaluation pluriprofessionnelle des capacités de conduite automobile - Une consultation auprès du médecin agréé par la préfecture (obligation réglementaire)
Autres lésions cérébrales « mineures »	<ul style="list-style-type: none"> - Un repérage des troubles visuels, sensitifs, moteurs, cognitifs et/ou comportementaux (réalisé par un médecin du parcours de soins) - Dans le cas de troubles repérés : <ul style="list-style-type: none"> - Une évaluation pluriprofessionnelle des capacités de conduite automobile - Une consultation auprès du médecin agréé par la préfecture (obligation réglementaire)
Autres lésions cérébrales « modérées à sévères »	<ul style="list-style-type: none"> - Une évaluation pluriprofessionnelle des capacités de conduite automobile - Une consultation auprès du médecin agréé par la préfecture (obligation réglementaire)

LES FONCTIONS À ÉVALUER	
Fonctions visuelles	<ul style="list-style-type: none"> - Acuité visuelle - Champ visuel binoculaire - Motilité oculaire <p>→ Pour une négligence spatiale unilatérale clinique ou mise en évidence lors du bilan neuropsychologique, il est recommandé de contre-indiquer la reprise de la conduite</p>
Fonctions sensitives et motrices	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité superficielle et profonde - Force et tonus musculaire - Amplitudes articulaires - Équilibre - Coordination <p>→ En cas de séquelles sensitives et/ou motrices nécessitant un aménagement du poste de conduite, il est recommandé qu'une période de formation à la maîtrise des aménagements soit consolidée par une évaluation sur route (voir ci-dessous le tableau « outils d'évaluation »)</p>

LES OUTILS D'ÉVALUATION	
Toutes lésions cérébrales	FONCTIONS VISUELLES Champ visuel binoculaire type Goldmann (en cas de doute d'une atteinte des voies visuelles après évaluation clinique du champ visuel)
Lésions cérébrales « mineures »	FONCTIONS COGNITIVES <ul style="list-style-type: none"> - Entretien si possible en présence d'un proche - la <i>Montréal Cognitive Assessment</i> (MoCA) pour déterminer la pertinence d'évaluations complémentaires

LES OUTILS D'ÉVALUATION	
Lésions cérébrales « modérées à sévères » ou « mineures » avec séquelles cognitives	<p>FONCTIONS COGNITIVES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un bilan neuropsychologique (réalisé avec des outils validés et normés comme la TAP -attention divisée, alerte phasique, champ visuel, balayage visuel, Go-No Go- les tests de barrage -D2-, le TMT-A et B, le Stroop, la figure de Rey, le Benton VRT...) <p>CAPACITÉS DE CONDUITE</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'évaluation sur route est l'outil qui apporte le plus d'informations. Elle se fait : <ul style="list-style-type: none"> - Sur un véhicule à double commande - Sur une durée d'au moins 45 minutes de conduite effective - Sur un parcours standardisé comprenant des situations de conduite variées <p>En présence de l'enseignant de la conduite et d'au moins un autre professionnel de santé (ergothérapeute et/ou neuropsychologue)</p>

LES MODALITÉS DE L'ÉVALUATION PLURIPROFESSIONNELLE	
Professionnels concernés par l'évaluation pluriprofessionnelle	<p>L'évaluation pluriprofessionnelle des capacités de conduite automobile est réalisée <i>a minima</i> par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un médecin - un ergothérapeute - un neuropsychologue - un enseignant de la conduite automobile
Synthèse de l'évaluation pluridisciplinaire	<p>La synthèse des conclusions de l'évaluation pluridisciplinaire des capacités de conduite automobile...</p> <ul style="list-style-type: none"> - Doit permettre de déterminer les éléments favorables et/ou défavorables à la reprise de la conduite automobile - Doit être tracée dans le dossier médical de la personne - Est réalisée par tous les professionnels ayant participé à l'évaluation - Est partagée avec la personne lors d'une restitution, réalisée si possible en présence d'un proche - Est remise à la personne sous forme d'un document qu'elle peut transmettre au médecin agréé par la préfecture ou tout autre médecin de son choix

ACCOMPAGNEMENT DE LA PERSONNE : INFORMATION, RÉÉDUCATION, RÉENTRAÎNEMENT	
Dans tous les cas : informations systématiques	<p>Il est recommandé que la personne soit systématiquement informée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de la réglementation concernant la reprise de la conduite automobile après ce type de lésion - du retentissement potentiel de sa pathologie sur ses capacités de conduite - du processus d'évaluation dans sa globalité
En cas d'éléments défavorables à la reprise de la conduite automobile	<p>Il est recommandé que la personne soit informée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des possibilités éventuelles de rééducation et/ou de réentraînement à la conduite (maximum 10h, sans pouvoir en garantir l'efficacité) - des alternatives à la conduite
En cas d'éléments favorables à la reprise de la conduite automobile	<p>Il est recommandé que la personne soit informée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des démarches de régularisation du permis de conduire après consultation auprès du médecin agréé par la préfecture - de la mise en place des aménagements du poste de conduite et des aides financières mobilisables pour leur mise en œuvre.

Ce document présente les points essentiels de la recommandation de bonne pratique « Reprise de la conduite automobile après une lésion cérébrale acquise non évolutive » - Recommandation de bonne pratique – janvier 2016

Ces recommandations et l'argumentaire scientifiques sont consultables dans leur intégralité sur les sites des promoteurs : Comète France, SOFMER, FEDMER, IFSTTAR

Cette recommandation de bonne pratique a reçu le label de la Haute Autorité de santé en janvier 2016

Annexe 4 : Détails sur mes enseignements et la formation par la recherche

Depuis 2011, je participe à différents enseignements en sciences cognitives offerts par l'Université Lyon 2. De 2011 à 2013, j'ai donné 48h de TD en L2 Sciences Cognitives et application. Depuis 2014, j'ai donné 12h de TD en M2 Pro SCA (Sciences Cognitives Appliquées), 16h de CM en L2 Sciences Cognitives et application et 32h de TD en L2 Sciences Ergonomie Cognitive. Mon volume horaire annuel varie entre 21 et 27h. Les parcours de Master ont été revus en 2016. L'an prochain, je devrai intervenir en Master 2 dans le parcours « Interaction Homme/Machine » dans le cadre d'un module intitulé « Techniques innovantes d'études en Sciences Cognitives » en proposant un cours sur la mesure de l'effort cognitif au travers de l'activité cardiaque.

De 1997 à 2000, j'ai donné 64h de TD en informatique bureautique (maîtrise de l'outil Excel, programmation VBA incluse) auprès des élèves de l'ENTPE (Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat).

Encadrement

J'ai eu le plaisir d'encadrer vingt-six étudiants depuis 2004.

- 2 post-docs en psychologie cognitive : Galvez-Garcia G. (univ. Granada, Espagne ; 100%), Jallais C. (univ. Nantes, France, 50%).
- 5 thèses en psychologie cognitive : Pepin G. (univ. Lyon 2 ; 80%), Hay M. (80%), Douissembekov E. (univ. Lyon 2 ; 25%), Moták L. (univ. Lyon 2 ; 80%), Obriot-Claudiel F. (univ. Toulouse 2, 80%).
- 6 Master 2 : Malin S., Pépin G., Adam N., Biela E. (en Psychologie Cognitive ou sciences cognitives, univ. Lyon 2), Deniaud C. (en Ergonomie, univ. Orsay), Haddab Z. (Informatique option image).
- 13 Master 1 en Psychologie Cognitive ou Sciences Cognitives : Saidi F., Coutie L., Blein E., Taillefer S., Iordannof M., Pépin G., Palluet M., Rolland V., Carotte A., Bonniaud M., Cerf J.E., Monsérié S., Clark M. (Univ. Lyon 2)
- 1 DESS en statistiques : Gigout E. (Extraction de connaissances à partir des données, Univ. Lyon 2).

Participation à des jurys et à des instances ou comités en lien avec l'enseignement

- Participation à 2 jurys de thèse : Charlene Hallett (Driver Distraction Impact and Assessment Test : design, development, administration and partial evaluation, 2013) et Céline Prévost (Apport de la simulation dans l'évaluation des aptitudes à la conduite : l'exemple des personnes cérébrolésées, 2013).
- Participation au jury M2 SCA en tant que personne qualifiée (univ. Lyon 2)
- Membre du comité de sélection pour un poste de maitre de conférence à l'université de Caen (2011, MCF 868)

Annexe 5 : Liste des productions scientifiques

[ACLS] Article soumis

1. Levasseur, L., Dubois, M.-F., Généreux, M., Menec, V., Raina, P., Paris, M., Roy, M., **Gabaude, C.**, Couturier, Y., St-Pierre, C. (under revision). Capturing how age-friendly communities foster positive health, social participation and health equity: Towards identification of key components and processes that promote population health in aging Canadians. *BMC Public Health*.
2. Levasseur, M., **Gabaude, C.**, Saint-Pierre, C., Bédard, M. (under revision). Facilitators, Barriers and Needs in the Use of Adaptive Driving Strategies to Enhance Older Drivers' Mobility: Importance of Openness, Perceptions, Knowledge and Support. *Transportation research part F*.
3. Navarro, J., Reynaud, E., **Gabaude, C.** (under revision). Eye-movement analysis in dynamic scene: presentation and application of different methods in bend taking during car driving. *Le Travail Humain*.
4. Hay, M., Bocca, M.-L., & **Gabaude, C.** (submitted). Is galvanic cutaneous stimulation effective in reducing simulator sickness of older drivers? *Applied Ergonomics*.

[ACL] Articles en revues internationales de rang A

1. Brelet, L., Moták, L., Ginet, M., Huet, N., Izaute, M., **Gabaude, C.** (in press). Enhancing older drivers' safety: on effects induced by stereotype threat to older adults' driving performance, working memory and self-regulation. *Geriatrics*, 2016, 1-20. doi:10.3390/geriatrics1030020
2. Pépin, G., Jallais, C., Fort, A., Moreau, F., Navarro, J., **Gabaude, C.** (in press). Towards real-time detection of cognitive effort in driving: contribution of cardiac measurement. *Le travail Humain*.
3. Douissembekov, E., Navarro, J., Michael, G.A., Bonhoure, P., **Gabaude, C.**, Rogé, J., (2015). Parking manoeuvres differ among drivers with narrower and wider field of view in the presence of a spatial reference. *Applied Cognitive Psychology*, 29, 309-313.
4. Douissembekov, E., Michael, G.A., Rogé, J., Bonhoure, P., **Gabaude, C.**, & Navarro, J. (2015). Effects of shrinkage of the visual field through ageing on parking performance: a parametric manipulation of salience and relevance of contextual components. *Ergonomics*, 58(5), 698-711.
5. Gálvez-García, G., Hay, M., & **Gabaude, C.** (2015). Alleviating the Simulator Sickness with Galvanic Cutaneous Stimulation. *Human Factors*, 57(4), 649-657.
6. Berthié, G., Lemerrier, C., Paubel, P.V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., Lagarde, E., **Gabaude, C.**, Maury, B. (2015). The restless mind while driving: drivers' thoughts behind the wheel. *Accident Analysis and Prevention*, 76, 159-165.
7. 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, 18-27.
8. Jallais, C., **Gabaude, C.**, Paire-Ficout, L. (2014). When emotions disturb the localization of road elements: effects of anger and sadness. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 23, 125-132.
9. Douissembekov, E., **Gabaude, C.**, Rogé, J., Navarro, J. Michael, & G.A. (2014). Parking and manoeuvring among older drivers: a survey investigating special needs and difficulties. *Transportation research part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 238-245.
10. Lemerrier, C. Pêcher, C., Berthié, G., Valéry, B., Vidal, V., Paubel, P.V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., **Gabaude, C.**, Lagarde, E., Maury, B. (2014). Inattention behind the wheel: how factual internal thoughts impact attentional control while driving. *Safety Science*, 62, 279-285.

11. Gálvez-García, G, **Gabaude**, C., David, F., Gomez, E. (2014). Influence of prior use of the same or different effectors in a reaching action. *Perceptual & motor skills: motor skills & ergonomics*, 118(1), 126-44.
12. Bakiri S., Galera C., Lagarde, E., Laborey M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon R., Salmi, R., **Gabaude**, C., Fort A., Maury B., Lemercier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., Orriols L. (2013). Distraction and driving: results from a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. *Accident Analysis & Prevention*, 59: 588-592.
13. Galéra C., Orriols, L., M'Bailara, K., Laborey, M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon, R., Masson, F. Bakiri, S., **Gabaude**, C., Fort, A., Maury, B., Lemercier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., Lagarde, E. (2012). Mind Wandering and Driving. *British medical Journal (BMJ)* 2012;345:e8105, Published 13 December 2012.
14. Gálvez-García, G., **Gabaude**, C., Michael, G.A. (2012). Different effects in tactile attention between the thumb and its metacarpus and the palm. *Neuroscience Letters*, 530, 18-22.
15. Moták, L., Huet, N., **Gabaude**, C., & Bougeant, J.-C. (2012). Older Drivers' Self-Regulation: Discrepancy Reduction or Region of Proximal Learning? *Psychology and Aging*, 27(4), 1164-1171.
16. **Gabaude**, C., Marquié, J., & Obriot-Claudé, F. (2010). Self-regulatory behaviour in the elderly: relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Le Travail Humain*, 73(1), 31-52.
17. Lafont, S., **Gabaude**, C., Paire-Ficout, L., & Fabrigoule, C. (2010). Des conducteurs âgés moins dangereux pour les autres : étude des accidents corporels en France entre 1996 et 2005. *Le Travail Humain*, 73(1), 75-92.
18. Marquié, J.-C. & **Gabaude**, C. (2010). Aging, Transportation and Mobility: Current Issues. *Le Travail Humain*, 73(1), 1-5.
19. Rogé, J. and **Gabaude**, C. (2009). Deterioration of the useful visual field with age and sleep deprivation: insight from signal detection theory. *Perceptual and Motor Skills* 109, pp.270-284.

[ACLN] Articles en revues de rang B

1. Hay, M., Adam, N., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (in press). Effectiveness of two cognitive training programs on the performance of older drivers with a cognitive self-assessment bias. *European Transport Research Review*. DOI: 10.1007/s12544-016-0207-7
2. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., **Gabaude**, C. (2014). L'immersion sur simulateur de conduite accroît-elle les bénéfices d'un entraînement cognitif dédié aux conducteurs seniors ? Présentation méthodologique. *Recherche Transport et Sécurité*, 30, 245-256.
3. Gabaude, C. (2003). Exploration des capacités visuelles et attentionnelles des conducteurs âgés : intérêts et techniques. *Recherche Transport et Sécurité*, n°81, 165-176.

[ASCL] Articles en Revue professionnelle

1. **Gabaude**, C. (2012). Comprendre les défauts d'attention des conducteurs afin de les limiter et d'éviter des accidents. *Revue de l'automobile club médical de France, Dossier route et médecine*, N°507 (septembre-octobre), 15-16.
2. **Gabaude**, C. (2010). Les défauts d'attention au volant : définitions, état des connaissances et pistes de recherches pour la prévention des risques routiers. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 3(71), 533-536.

[DO] Direction d'ouvrage

1. Chapon, A., **Gabaude**, C. and Fort, A. (Eds). (2006). Défauts d'Attention et Conduite Automobile : état de l'art et nouvelles orientations pour la recherche dans les transports. Les collections de l'Inrets, Synthèse n°52, Paris, France, 143 p.

[OS] Chapitre d'ouvrage

1. Lafont S, Paire Ficout L, **Gabaude** C, Hay M, Bellet T, Paris J-C, Chavoix C, Marin-Lamellet C, Fabrigoule C. (2015). SAFE MOVE for older drivers : pour une mobilité sûre des conducteurs âgés. In : Vieillesse de la population et transport. In Direction de la Recherche et de l'Innovation du MEDDE, La Documentation Française (ed), p121-141.
2. Adam, N., Hay, M., Bocca, M.-L. and **Gabaude**, C. (2015). Efficacité d'un programme d'entraînement cognitif sur les habitudes de conduite et la qualité de vie de conducteurs seniors n'estimant pas correctement leurs capacités cognitives. In Sécurité, éducation et mobilités - Maîtrise des risques et prévention Tome 2. Gaymard, S. and Tiplica, T. (Eds). L'Harmattan, Paris, France.
3. **Gabaude**, C. (2013). Evaluation de la performance de conduite et mise en évidence d'adaptation comportementale auprès des conducteurs âgés. In X. Zanlonghi & S. Quinton-Fantoni (Eds), Aptitudes visuelles : l'œil sain, l'œil opéré, l'œil pathologique. Bulletin des Sociétés d'Ophtalmologie de France, rapport annuel, novembre 2013, 486-488.
4. **Gabaude**, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.) (2012). Human Factors: a view from an integrative perspective. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse, 67-80. ISBN 978-0-945289-44-9. Available from <http://hfes-europe.org>
5. **Gabaude**, C., Motak, L., & Marquié, J.C. (2010). The older drivers' adaptative strategies: some factors of interest. In T. Marek, W. Karwowsky & Rice, V. (Eds), Advances in Understanding Human Performance: Neuroergonomics, Human Factors Design, and Special Populations. Florida, USA: CRC Press, 788-799.
6. Rogé, J., Paire-Ficout, L., **Gabaude**, C., Motak, L., & Marin-Lamellet, C. (2009). New trends in road traffic safety research on senior drivers. In S. Paterson & L. Allan (Eds.), Road Traffic: Safety, Modeling, and Impacts: New-York, USA. NOVA Science Publishers, 312-345.
7. Obriot-Claudiel, F. & **Gabaude**, C. (2003). To accompany seniors towards a driving retraining: interest of improving awareness. In L. Dorn (Ed.), Driver Behaviour and Training, 397-405, Ashgate : England.
8. **Gabaude**, C. & Obriot-Claudiel, F. (2003). Evolution des processus attentionnels avec l'âge : quelles répercussions sur la sécurité routière ? In A. Pottier (Ed.), Journée spécialisée vigilance, actes N°91, 81-102. Les Collections de l'INRETS : France.
9. **Gabaude**, C. (2003). Détermination de situations « visuelles » à risques pour les conducteurs âgés. In X. Zanlonghi (Ed.) Conduite et âge : un certain regard, les séminaires d'abc médecine. Octopus Multimedia : Paris, France, pp 77-82.

[INV] Conférence invité

1. Hay, M., Adam, N., Bocca, M-L., **Gabaude**, C. (2015). L'entraînement cognitif permet-il d'accroître la sécurité des conducteurs de 70 ans et plus ? 28ièmes entretiens Jacques Cartier, Bruxelles, Belgique, 25-26 novembre.
2. Gabaude, C. (2015). Nouvelles technologies appliquées à la prévention des accidents liés aux transports. 11ième Séminaire national de formation des internes en santé publique, Lyon, France, 22 avril.
3. Gabaude, C. (2015). Répondre aux défis du vieillissement démographique par une route durablement utilisable, visible et lisible. In "Quel renouveau pour la route pour quelles évolutions des comportements ?". Think Tank de l'Union Routière de France. Paris, France, 6 février.
4. Gabaude, C. (2014). Observation et analyse de l'activité des conducteurs âgés : comprendre pour mieux agir. Conférence invitée au Centre de Recherche sur le vieillissement, Université de Sherbrooke, Shebrooke, Québec, 3 octobre.

5. Gabaude, C. (2014). Observation et analyse de l'activité des conducteurs âgés : comprendre pour mieux agir. Médecine du trafic et personnes âgées, 2^{ième} journée scientifique du CFMT, Paris, France, 19 mars.
6. Gabaude, C. (2013). Evaluation de la performance de conduite et mise en évidence d'adaptation comportementale : Etat des recherches menées auprès des conducteurs âgés. Réunion plénière des Sociétés d'Ophtalmologie de France, Paris, France, 16 novembre.
7. Gabaude, C. (2011). Vieillesse, Transport et Mobilité : questions actuelles. La sécurité routière dans les villes de demain, 24^e entretiens du centre Jacques Cartier, Québec, Canada, 6 octobre 2011.
8. Gabaude, C. (2009). La charge mentale et le concept d'attention partagée. Congrès du MEDEC, Assises nationales sur les accidents de la route. Paris, France, .
9. Gabaude, C. (2007). Les défauts d'Attention en Conduite Automobile. PREDIT 2002-2007 : le temps du bilan, La sécurité routière dans le PREDIT 3, comportements, techniques, politiques. 29 juin 2007, Paris, France.
10. Gabaude, C. (2006). Vieillesse cognitive et conduite automobile. IX^{ème} colloque International sur le Vieillesse Cognitive, Angers, France, 12-13 sept. 2006.
11. Gabaude, C. (2006). Vieillesse et Conduite automobile : limitations et adaptations. Journée associée au 31^{ème} Congrès de la SELF, Caen, France, 14 septembre 2006.

[ACTI] Conférences internationales avec actes

1. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., & Gabaude, C. (2015). Effectiveness of two cognitive training programs on the performance of older drivers presenting a cognitive self-assessment bias. ECTRI Young Researchers Seminar, June 17-19th, Roma, Italy, 21p.
2. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2014). A cost-effectiveness analysis of cognitive training programs for older drivers misestimating their cognitive abilities. Ageing and Safe Mobility Conference, Bergisch-Gladbach, Germany, nov 27-28th, 10p.
3. Peters, B., Dukic, T., Fabrigoule, C., Gabaude, C., Levin, L., Marin-Lamellet, C. (2013). SAFE Move for older drivers: A French-Swedish research initiative to keep the balance between safety and mobility. FAST-Zero'13, International symposium on future active safety technology: toward zero traffic accidents. Nagoya, Japan, September 22-26th, 6p (N°0114).
4. Moták, L., Huet, N., Bougeant, J.-C., & Gabaude, C. (2012). Influence of Stereotype Threat on Older Drivers' Self-Regulation Can Be Identified Through Metacognitive Paradigms. In M. Lukeš & H. Chýlová (Eds.), Proceedings of the Working Psychology Conference in Czech Republic [Konference psychologie práce a organizace v České Republice], 19p.
5. Gabaude, C., Cerf, J.E., Jallais, C., Douissembekov, E., Letisserand, D., Paire-Ficout, L., Michael, G.A. (2011). Effects of aging and cognitive competing task on the setting of the salience-relevance balance in visual search. Driver Distraction and Inattention Conference, Gothenburg, Sweden, September 5-7th, 18 p.
6. Jallais, C., Gabaude, C., Paire-Ficout, L. (2011). When emotions disturb the localization of road elements: effects of anger and sadness. Driver Distraction and Inattention Conference, Gothenburg, Sweden, September 5-7th, 17 p.
7. Jallais, C., Paire-Ficout, L. and Gabaude, C. (2009). Objects localization in road scenes: effects of aging and cognitive distraction. Young researcher seminar ECTRI-FERSI-FEHL, Torino, Italie, June 3-5 2009, 12 p.
8. Gabaude, C. and Paire-Ficout, L. (2005). Toward a Driving Competency Assessment Encouraging Elderly's Automobility: a french point of view. 3rd international driving symposium on human factors

in driver assessment, training and vehicle design, Rockport, Maine, USA, June 27-30, 2005, pp. 318-327.

[ACTN] Conférences nationales avec actes

1. Gabaude, C., Paire-Ficout, L. and Marin-Lamellet, C. (2006). Vers une harmonisation Européenne de l'évaluation de la compétence de conduite. 6ème Congrès Association Représentative des Initiatives en Basse vision (ARIBa), Lyon, 26-27 Novembre 2006, pp.95-96.
2. Paire-Ficout, L., Gabaude, C. and Marin-Lamellet, C. (2006). L'évaluation de la compétence de conduite. 6ème Congrès Association Représentative des Initiatives en Basse vision (ARIBa), Lyon, 26-27 Novembre 2006, pp.91-93.

[COM] Conférences internationales sans actes

1. Levasseur, M., Gabaude, C., Bédard, M., Coallier, J.-C., St-Pierre, C., Beaudry, M., Langlais, M.-E. (2016). Understanding the Use of Compensatory Strategies to Enhance Older Drivers' Mobility. IAGG World Congress of Gerontology and Geriatrics, San Francisco, California, USA. July 23-27th, 2017.
2. Pépin, G., Jallais, C., Fort, A., Gabaude, C. (soumis). Detection of mind-wandering in driving: contributions of cardiac measurement and eye movements. Driver distraction and inattention conference, Paris, France. March 22-27th, 2017.
3. Gabaude, C., Paire-Ficout, L., Lafont, S. (Submitted, 2016). Determinants of Driving Errors in Older Adults. The Gerontological Society of America's (GSA) 69th Annual Scientific Meeting. New Orleans, Louisiana, USA. November 16-20th, 2016.
4. Pépin, G., Malin, S., Navarro, J., Fort, A., Jallais, C., Gabaude, C. (soumis). Detection of mind-wandering in driving: contributions of cardiac measurement and eye movements. Conference in neuroergonomics, October 6-7th 2016, Paris, France.
5. Pépin, G., Malin, S., Navarro, J., Fort, A., Jallais, C., Gabaude, C. (2016). Towards real-time detection of cognitive effort in driving: Contribution of cardiac measurement. Humanist Conference, June 30th-July 1st, Loughborough, UK.
6. Levasseur, M., Dubois, M.-F., Généreux, M., Menec, V., Raina, P., Paris, M., Roy, M., Gabaude, C., Couturier, Y. (2016). Capturing how age-friendly communities produce positive health, social participation and health equity. World Congress on Active Ageing (WCAA) 2016. Melbourne, Australia. June 28th-July 1st, 2016.
7. Hay, M., Adam, N., B., Bocca, M.-L., & Gabaude, C. (2015). Driving errors typology of older drivers presenting a cognitive self-assessment bias: can a cognitive training program improve both self-assessment and driving performance? Third International Conference on Aging and Cognition, April 23-25th, Dortmund, Germany.
8. Levasseur, M., Coallier, J.-C., Gabaude, C., Bédard, M., Beaudry, M., Langlais, M.-E. (2016). Use of Compensatory Driving Strategies to Enhance Older Drivers' Mobility. 2016 CAOT Annual Conference. Banff, Alberta, Canada. April 19-22th, 2016.
9. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., & Gabaude, C. (2015). A cost-effectiveness analysis of cognitive training programs for older drivers misestimating their cognitive abilities. 8th Congress of the International Association of Gerontology and Geriatrics European Region (IAGG-ER), April 23-26th, Dublin, Ireland.
10. Hay, M., Adam, N., Tedesco, A., Bocca, M.-L., and Gabaude, C. (2014). Intérêt d'un programme de stimulation cognitive pour des conducteurs âgés présentant un biais d'auto-évaluation. 2ème Congrès Européen de Stimulation Cognitive, 22-23 Septembre, Toulouse, France.

11. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2014). Comparison of the effectiveness of two older driver training programs on cognitive self-regulation and on road transfer, International Congress of Applied Psychology, July 8-13th, Paris, France.
12. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2014). Does cognitive training improve older drivers' self-regulation and self-assessment? International Conference on Metacognition, Sept 9-10th, Clermont-Ferrand, France.
13. Gabaude, C., Rolland, V., Carotte, A., Jallais, C., Fort, A., Baracat, B., Michael, G. (2013). Influence of psychological flow on the management of cognitive secondary tasks while driving: approach comparing subjective and objective mental effort measurement. Driver Distraction and Inattention Conference, Gothenburg, Sweden, September 4-6th, 1 p (No. 48-O).
14. Bakiri, S., Galéra, C., Orriols, L., Laborey, M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon, R., Salmi, L.-R., Gabaude, C., Fort, A., Maury, B., Lemercier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., Lagarde, E. (2013). Distraction and driving: results from the epidemiology task of the ATLAS project: a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. Driver Distraction and Inattention Conference, Gothenburg, Sweden, September 4-6th, 1 p (No. 95-O).
15. Jallais, C., Rogé, J., Fort, A., Gabaude, C. (2013). Effects of Anger and Sadness on the drivers' useful visual field: toward a tunnel vision phenomenon? Driver Distraction and Inattention Conference, Gothenburg, Sweden, September 4-6th, 13 p (No. 44-P).
16. Motak, L., Hay, M., & Gabaude C. (2013). Self-Regulatory Aptitudes of Older Drivers: A Critical Review on Current Methods, Results and Conclusions, *Journal of Psychophysiology C*.2013; 27 (Suppl. 1), p 63.
17. Marin-Lamellet, C., Fabrigoule, C., Levin, L. Gabaude, C., Peters, B., Dukic, T. (2013). SAFE MOVE for Older Drivers: Do Under and Over Estimators Behave Differently? A French-Swedish Research Initiative to Suggest Educative and Technologic Solutions. *Journal of Psychophysiology C*.2013; 27 (Suppl. 1), p 62.
18. Marin-Lamellet, C., Fabrigoule, C., Levin, L., Gabaude, C., Peters, B. and Dukic, T. (2013). SAFE Move for older drivers: A French-Swedish research initiative to keep the balance between safety and mobility. *Mobility & Road Safety in an Ageing Society conference*, KfV, Vienna, June 19-20, pp.19.
19. Douissembekov, E., Gabaude, C., Rogé, J., Bonhoure, P., Navarro, J. (2012). Analysis of elderly drivers' needs while manoeuvring. *European conference on human centered design for intelligent transport systems*, Valencia, Spain, June 15-15th, 1p.
20. Baracat, B., Fort, A., Gabaude, C. (2012). Assessment of cognitive load induced by a dual task using cardiac and GSR measures, *HFES Europe*, Toulouse, France, Octobre 2012.
21. Moták, L., Huet, N., Gabaude, C., & Bougeant, J.-C. (2011). Keeping aware of being an older driver? Stereotype threat as a cue in older adults' self-regulation. Presentation at the European Association of Research in Learning and Instruction (EARLI), Exeter, United-Kingdom, August 30th-September 3rd 2011, p. 1776.
22. Moták, L., & Huet, N. (2011). Self-regulated study and its cues: The road to hell is paved with good intentions. Symposium organised at the European Association of Research in Learning and Instruction (EARLI), Exeter, United-Kingdom, August 30th-September 3rd, p.1773.
23. Moták, L., Gabaude, C., Huet, N., & Bougeant, J.-C. (2010). Apport des théories métacognitives à l'étude de l'adaptation au vieillissement : application à la conduite automobile. *Colloque International sur le Vieillissement Cognitif (JEV)*. Liège, Belgique, 23-24 Septembre, p. 76.
24. Motak, L., Huet, N., Gabaude, C. & Bougeant, J.-C. (2010). The elderly drivers' reduction of discrepancy: How does their self-regulation really differs from that of younger drivers? 4th biennial meeting of the European Association for Research on Learning and Instruction, special interest group 16. Munster, Germany, Mai 26-29, p. 142.

25. Gabaude C., A. Fort, et al. (2009). Attentional failures when driving: a French experience to stimulate research community on this road safety issue. 1st International Conference on Driver Distraction and Inattention, Göteborg, Sweden, September 28-29th, p. 62.
26. Gabaude, C., Paire-Ficout, L., Lafont, S., Bedoin, N., Knoblauch, K., Bruyas, M. P. and Vital-Durand, F. (2009). Relationship between change detection and decision making at left-turn intersection: effects of age and distraction. 21th World Congress of the International Transportation Medicine Association, The Hague, Netherlands, 26-29 April 2009, pp.44-45.
27. Gabaude C., Fort, A. and Chapon, A. (2009). Attentional failures when driving: a French experience to stimulate research community on this road safety issue. 1st International Conference on Driver Distraction and Inattention, Göteborg, Sweden, 28-29 September 2009, pp.62.
28. Jallais, C., Paire-Ficout, L. and Gabaude, C. (2009). Object localization in jumbled natural road scenes. 21th World Congress of the International Traffic Medicine Association, The Hague, Netherlands, 26-29 April 2009, pp.82.
29. Lafont, S., Gabaude, C., Paire-Ficout, L. and Fabrigoule, C. (2009). Older drivers are less dangerous for the other road users in all driving situations. 21th World Congress of the International Traffic Medicine Association, The Hague, Netherlands, 26-29 April 2009, pp. 98-99.
30. [ACTI3.2] Paire-Ficout, L., Gabaude, C., Bruyas, M. P., Lafont, S., Bedoin, N., Knoblauch, K. and Vital-Durand, F. (2008). The impact of distraction on change detection at intersection: aging effect. 4th International Conference on Traffic & Transport Psychology, Washington DC, USA, august 31-september 4.
31. Gabaude, C., Fort, A. and Chapon, A. (2008). Concept identification to better cope with attentional failures when driving. 4th International Conference on Traffic & Transport Psychology, Washington DC, USA, august 31- september 4 2008, S11.1.
32. Fort, A., Gabaude, C. and Chapon, A. (2007). Concepts Identification and Stake of Researches on Attentional Failures. Xth European Congress of Psychology, Praha, Czech Republic, 3-6 july 2007, sur CD-Rom, 1 p.

[COM] Conférences nationales sans actes

1. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Gabaude, C., & Bocca, M.-L. (2015). Does the incorrect self-assessment of cognitive abilities of older adults can be improved by a cognitive training? A driving-related study. 18èmes Journées de l'EdNBISE, 26-27 Mars, Rouen, France.
2. Paire-Ficout, L., Gabaude, C., Bruyas, M., Lafont, S., Bedoin, N., Knoblauch, K. and Vital-Durand, F. (2009). Rôle de l'expérience sur la prise de décision en intersection chez des conducteurs âgés. Congrès national de la Société Française de Psychologie « Psychologie et enjeux de société », Toulouse, 17-19 juin 2009, p.73.
3. Gabaude, C., Obriot-Claudiel, F. and Marquié, J.-C. (2007). Conduite automobile et vieillissement : relation entre prise de conscience de ses capacités visuo-attentionnelles et évitement de situations difficiles. Congrès national de la Société Française de Psychologie, Nantes, France, 13-15 septembre 2007, pp. 66.
4. Douissembekov, E., Gabaude, C., Rogé, J., Bonhoure, P., Navarro, J., Michael, G.-A. (2014). Effect of spatial reference on parking manoeuvring among drivers with different extents of visual and visuo-attentional field. Rencontres scientifiques 2014 de l'école doctorale Neurosciences et Cognition (ED 476 NDCo), France, May 15th, pp. 13.
5. Gabaude, C., Rolland, V., Carotte, A., Jallais, C., Fort, A., Baracat, B., Michael, G. (2013). Influence du flow psychologique sur la gestion des tâches cognitives en conduite automobile : approche comparée des mesures subjective et objective de l'effort mental. Congrès national de la Société Française de Psychologie, Lyon, France, 11-13 septembre 2013, pp. 26.

6. Fort, A., Gabaude, C., Pêcher, C., Jallais, C., Baracat, B. (2013). Défauts d'attention en conduite automobile simulée : approche comportementale et électrophysiologique. Congrès national de la Société Française de Psychologie, Lyon, France, 11-13 septembre 2013, pp. 27.
7. Jallais, C., Rogé, J., Gabaude, C. (2013). Effets de la colère et de la tristesse sur le champ visuel utile des conducteurs. Congrès national de la Société Française de Psychologie, Lyon, France, 11-13 septembre 2013, pp. 26.
8. Gabaude, C. (2013). ATLAS, Inattention au volant : un nouveau gisement de sécurité routière et de nouvelles pistes vers la détection temps réel des états attentionnels dégradés (2013). In *Le livre des projets, collection PREDIT, Recherche et innovation dans les transports terrestres*, 85-87.
9. Marquié, J.-C., Gabaude, C., Etcheverry, I., Vigouroux, N., Campo, E., Gleize, M.-P. (2011). Vieillesse et handicaps : thématiques actuelles, avancées récentes et défis pour la psychologie ergonomique. Colloque de synthèse et perspectives du GDR CNRS Psycho-Ergo (3169), Toulouse, France, 4-6 avril 2011, p. 11.
10. Moták, L., Gabaude, C., Huet, N., & Bougeant, J.-C. (2010). Apport des théories métacognitives à l'étude de l'adaptation au vieillissement : application à la conduite automobile. XI. Colloque International sur le Vieillesse Cognitif (JEV). Liège, Belgique, 23-24 Septembre 2010, p. 76.
11. Gabaude, C., Obriot-Claudiel, F. Marquié, J.C. (2007). Conduite automobile et vieillissement : relation entre prise de conscience de ses capacités visuo-attentionnelles et évitement de situations difficiles. Congrès de la société Française de Psychologie, Angers, 13-15 septembre 2007, p. 66.
12. Marin-Lamellet, C., Kerleroux, J., Etienne, V., Bedoin, N., Gabaude, C. and Lafont, S. (2005). Efficience cognitive des traumatisés crâniens et conduite automobile. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* 48(7), pp.515.

[COM] Séminaires, Workshop, communications

1. Hay, M., Adam, N., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2015). L'entraînement cognitif permet-il d'accroître la sécurité des conducteurs de 70 ans et plus ? Séminaire d'échanges scientifiques de TS2 « Les recherches de TS2 sur le vieillissement : concilier mobilité, santé et sécurité », Bron, France, 30 novembre.
2. Paire-Ficout, L., Lafont, S. and Gabaude, C. (2015). Vieillir et conduire : Une question d'adaptation. Les décennies de l'IFSTTAR - 50 ans de recherche en sécurité routière, Bron, France, 15 octobre 2015.
3. Hay, M., Adam, N., Bocca, M.L., Gabaude, C. (2015). Driving and cognitive training for older drivers: French results. In *Self-assessment of cognitive abilities and driving performance: which key factor for safe mobility of older drivers? Safe Move Workshop, 14th International TRANSED Conference*, July 28-31st, Lisbon, Portugal.
4. Gabaude, C. (2015). Répondre aux défis du vieillissement démographique par une route durablement utilisable, visible et lisible. In « Réunion sécurité routière de la direction des routes », Conseil Général des Bouches du Rhône, 24 juin 2015, Marseille, France.
5. Gabaude, C. (2015). Répondre aux défis du vieillissement démographique par une route durablement utilisable, visible et lisible. In « Quel renouveau pour la route pour quelles évolutions des comportements ? ». Think Tank de l'Union Routière de France. 6 février, Paris, France.
6. Gabaude, C. (2014). Les déterminants de l'adoption de stratégies adaptatives par les conducteurs âgés. In « Journée Bien Vieillir », ARC2 Qualité de Vie et Vieillesse, Université Lyon 2, 29 novembre, Lyon, France.
7. Gabaude, C. & Marquié, J.-C. (2010) Adaptation et vieillissement cognitif. Journées de printemps du GDR Psycho-Ergo. Nantes, France.

8. Gabaude, C. (2010). ATLAS : Impact des inattentions sur la conduite automobile, approche pluridisciplinaire. Séminaire de suivi et de valorisation du GO2-PREDIT4, séminaire sécurité routière et santé. Paris, France, Atema conseil, 41-46.
9. Gabaude, C. (2010). ATLAS : Impacts des inattentions sur la conduite automobile : approche multidisciplinaire (psychologie cognitive, neuro-physiologie, épidémiologie, mathématique). Séminaire premier semestre ANR-VTT édition 2009, Solaize, France.
10. Gabaude, C. & Lafont, S. (2010). Vieillesse et conduite automobile: quels enjeux ? 4^e Assises nationales de l'accessibilité. Paris, France.
11. Gabaude, C. (2010). ATLAS : Impact des inattentions sur la conduite automobile, approche pluridisciplinaire. Séminaire de suivi et de valorisation du GO2-PREDIT4, séminaire sécurité routière et santé. Paris, France, Atema conseil, 41-46.
12. Gabaude, C. (2010). ATLAS : Impacts des inattentions sur la conduite automobile : approche multidisciplinaire (psychologie cognitive, neuro-physiologie, épidémiologie, mathématique). Séminaire premier semestre ANR-VTT édition 2009, Solaize, France.
13. Gabaude, C. (2009). La charge mentale et le concept d'attention partagée. Congrès du MEDEC, assises nationales sur les accidents de la route. Paris, France.
14. Gabaude, C. (2009). Le concept de charge mentale, ses évolutions et ses limites pour l'étude des défauts d'attention au volant. Journée spécialisée du Réseau Eveil Sommeil Attention Transports, Lyon, 26 novembre 2009.
15. Gabaude, C. (2009). Présentation finale des résultats du projet DACOTA. Séminaires de valorisation du GO2 du Predit 4 - Usagers vulnérables et santé, La Défense, France, 2-3 juillet 2009.
16. Gabaude, C. (2008). Le risque routier des seniors : analyse et prévention. Semaine de la sécurité routière, Conseil général de Loire-Atlantique, Nantes, 8 octobre 2008.
17. Gabaude, C. (2008). Comment s'adapter à des fonctions visuo-attentionnelles altérées ou réduites ? Séminaire des ophtalmologistes de Loire Atlantique, Nantes, 7 octobre 2008.
18. Gabaude, C. (2008). Les déficits visuo-attentionnels des conducteurs âgés : évaluation et contre-mesures. Séminaire des ophtalmologistes de Loire Atlantique, Nantes, 7 octobre 2008.
19. Gabaude, C. (2007). Stratégie de développement du RESAT : quel avenir pour le réseau. Seconde rencontre du RESAT, Bordeaux, 20 septembre 2007.
20. Gabaude, C. (2007). Bilan des premiers résultats du projet DACOTA (Défauts d'Attention en Conduite Automobile). Seconde rencontre du RESAT, Bordeaux, France, 20 septembre 2007.
21. Gabaude, C. (2007). Les défauts d'Attention en Conduite Automobile. PREDIT 2002-2007 : le temps du bilan, La sécurité routière dans le PREDIT 3, comportements, techniques, politiques ?, Paris, France, 29 juin 2007.
22. Marin-Lamellet, C., Gabaude, C. (2007). La problématique sécurité routière des conducteurs seniors. Séminaire des Coordinateurs de Sécurité routière, Pôles d'animation PACA - Corse - la Réunion et Rhone-Alpes, 13 juin 2007.
23. Gabaude, C. (2007). Vieillesse et conduite automobile. Journée d'étude sur le thème de la sécurité routière, Gaymard S. (responsable scientifique), Angers, France, 12 juin 2007.
24. Gabaude, C. (2006). Lancement du projet DACOTA (Défauts d'Attention en Conduite Automobile). Colloque PREDIT GO4, Paris, France, 30 juin 2006.
25. Gabaude, C. (2005). Vieillesse cognitive et conduite automobile : prise de conscience des changements liés à l'âge et processus d'optimisation. Séminaire du réseau RESAT, INRETS, Bron, 23 et 24 mars.

[RAPP] Rapports de Recherche

1. Hay, M., Millet, G., Abellanas, D., Espié, S., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2015). Réduire le mal du simulateur pour les conducteurs âgés : résultats d'expérimentations et analyses ; Mitigation of simulator adaptation syndrome for older drivers: Experiment results and analysis. SAFE MOVE for older drivers, project deliverable n° 2.5.2, 72p.
2. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2015). Evaluation et amélioration des interventions proposées aux conducteurs de 70 ans et plus ; Evaluation and refinement of training programs dedicated to older drivers (70 years old and other): Experiment results and analysis. SAFE MOVE for older drivers, project deliverable n° 2.4.2 & 2.4.3, 131p.
3. Hay, M., Gabaude, C., Stave, C., Peters, B., and Bocca, M.-L. (2014). Training needs analysis: Towards a training curriculum. SAFE MOVE for older drivers project deliverable n°2.1.3, 68p.
4. Richard, B., Ndiaye, D., Hay, M., Adam, N., Bocca, M.-L., and Gabaude, C. (2014). Specification of a driving simulator-based training curriculum for older drivers with focus on under and over estimators. SAFE MOVE for older drivers project deliverable n°2.2.2, 26p.
5. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., and Gabaude, C. (2014). Protocol of an experimental study evaluating the effectiveness of the Safe Move training curriculum. SAFE MOVE for older drivers project deliverable n°2.4.1, 22p.
6. Douissembekov, E., Rogé, J., Gabaude, C., Navarro, J., Bonhoure, P., Michael, G.-A., Ndiaye, D., Vienne, F., Piechnik, B., Moreau, F. (2014). Projet Reverse : analyse de la réalisation des manœuvres de stationnement dans un simulateur de conduite. Rapport final convention Valeo, Juin, 55p.
7. Hay, M., Henriksson, P., Bocca, M.L., Peters, B., Millet, G., Espie, S., Gabaude, C. (2013). Simulator Sickness Syndrome & Older Drivers. SAFE MOVE for older drivers, project deliverable n°2.5.1, 33p.
8. Millet, G., Richard, B., N'diaye, D., Espié, S., Gabaude, C. (2013). Définition et implémentation de la brique technologique permettant l'interaction LMS – Simulateur. SAFE MOVE for older drivers, project deliverable n° 2.3.3, 9p.
9. Bell, D., Pokriefke, E., Risser, R., Biler, S., Šenk, P., Parkes, A., Stannard, J., Armoogum, J., Marin-Lamellet, C., Gabaude, C., Madre, J.-L., Alauzet, A., Bort, H. M. I. and Henriksson, P. (2013). Mobility Patterns in the Ageing Populations. DG MOVE Project CONSOL - Concerns and Solutions for Road Safety in the Ageing Society, WP2 - Summary Report, 27 p.
10. Bell, D., Pokriefke, E., Risser, R., Biler, S., Šenk, P., Parkes, A., Stannard, J., Armoogum, J., Marin-Lamellet, C., Gabaude, C., Madre, J.-L., Alauzet, A., Bort, H. M. I. and Henriksson, P. (2013). Mobility Patterns in the Ageing Populations. DG MOVE Project CONSOL - Concerns and Solutions for Road Safety in the Ageing Society, WP2 - Technical Report, 226 p.
11. Siren, A., Hausteijn, S., Meng, A., Bell, D., Pokriefke, E., Lang, B., Gabaude, C., Marin-Lamellet, C., Monterde i Bort, E., Strnadova, Z. (2013). Driver Licensing Legislation, DG MOVE Project CONSOL - Concerns and Solutions for Road Safety in the Ageing Society, WP5.1 – Final report, September 2013, 48p.
12. Reeves, C., Lang, B., Parkes, A., Bernhoft, I.-M., Senk, P., Gabaude, C. (2013). Traffic accident patterns in the ageing population. DG MOVE Project CONSOL - Concerns and Solutions for Road Safety in the Ageing Society, WP3.1 – overview of accident data, 53p.
13. Millet, G., Richard, B., Ndiaye, D., Espié, S., Gabaude, C. (2013). Définition et implémentation de la brique technologique permettant l'interaction LMS-Simulateur. Projet Safe Move, livrable 2.3.3, 9p.
14. Douissembekov, E., Rogé, J., Gabaude, C., Navarro, J., Michael, G.-A., Piechnik, B., Moreau, F., Deleurence, P. (2013). Analyse des besoins des conducteurs âgés lors des manœuvres de stationnement. Rapport intermédiaire N°2, convention Valeo, Juillet, 40p.
15. Gabaude, C. (2013). Rapport Final du projet ANR-09-VTT-04 (Assessing Traffic Low Attentional Status), septembre, 29p.

16. Gabaude, C. (2012). Rapport du projet ANR-09-VTT-04 (Assessing Traffic Low Attentional Status). Compte rendu intermédiaire T0+30 (ATLAS, J09-51), juillet, 37p.
17. Douissembekov, E., Gabaude, C., Navarro, J., Bonhoure, P., Rogé, J. (2012). Analyse des besoins des conducteurs âgés lors des manœuvres de stationnement. Rapport intermédiaire n°1, convention Valeo, Mai, 55p.
18. Gabaude, C., Marquié, J.-C. (2011). Vieillesse, handicap et facteurs capacitants : bilan des activités du GDR Psycho-Ergo et perspectives. In Hoc, J.-M., Darses, F., (Eds) Rapport quadriennal 2008-2011 du GDR CNRS 3169 Psycho-Ergo, décembre, 64p.
19. Gabaude, C. (2011). Rapport du projet ANR-09-VTT-04 (Assessing Traffic Low Attentional Status). Compte rendu intermédiaire T0+24 (ATLAS, J09-51), juin, 13p.
20. Bellet, T., Cody, D., Marin-Lamellet, C., Gabaude, C., Bonnard, A., Deleurence, P., Banet, A., Mathern, B., Nowakowski, C., O'connel, J., Spring, J. and Murray, J. (2009). Ergonomie Cognitive et Facteur Humain pour la Conception de Systèmes de Transport Intelligents (Application of Cognitive Human Factors to Transportation Safety and Design of Intelligent Transportation System workshops). Rapport final de Convention MEEDAT n°2007-368, 134 p.
21. Chapon, A., Gabaude, C. and Fort, A. (2009). Défauts d'attention et conduite automobile : rapport synthétique. DACOTA - Convention ANR-05-PDIT-004, 11 p.
22. Gabaude, C., Fort, A. and Chapon, A. (2009). Défauts d'attention et conduite automobile : rapport final détaillé. DACOTA - Convention ANR-05-PDIT-004, 156 p.
23. Paire-Ficout, L., Gabaude, C., Lafont, S., Bedoin, N., Bruyas, M., Jallais, C., Dapzol, N., Knoblauch, K. and Vital-Durand, F. (2009). Les processus visuo-attentionnels impliqués dans le franchissement d'une intersection de type « tourne à gauche ». Rapport final de l'action de recherche n°1 du projet DACOTA : Défauts d'Attention et CONduiTe Automobile, Lyon, 23 p.
24. Chapon, A., Gabaude, C. and Fort, A. (2007). Défauts d'attention et conduite automobile. DACOTA – Rapport intermédiaire, convention ANR-05-PDIT-004, 80 p.

[RS] Rapports de stage (activité d'encadrement)

1. Malin, S. (2016). Influence du vagabondage de la pensée sur la prise d'information visuelle en conduite automobile. Mémoire de seconde année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : sciences cognitives, spécialité : sciences cognitives fondamentales, Finalité : recherche. Ecole Normale Supérieure de Lyon, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 53 p.
2. Maillant, J. (2016). Inattention et automatisation : déceler l'inattention au volant pour faciliter la reprise en main d'un véhicule automatisé. Mémoire de première année de master en Sciences humaines et sociales. UF : mathématiques. Mention : sciences cognitives et ergonomie. Spécialité : sciences cognitives. Université de Bordeaux, France, 27p.
3. Saidi, F. (2016). Mesures de la participation sociale, de la qualité de vie et de la mobilité des personnes âgées : analyse de la sensibilité des outils existants. Mémoire de première année de master en Sciences humaines et sociales, mention : psychologie, spécialité : psychologie cognitive et neuropsychologie. Université Lyon 2, France, 37p.
4. Benard, V (2016). Comment garantir un vieillissement actif et conserver une bonne qualité de vie aux seniors Lillois : rapport de stage en situation. Licence professionnelle Qualité de Vie et Vieillesse, 20p.
5. Pépin, G. (2015). Vers la détection de l'effort cognitif du conducteur à partir de mesures physiologiques. Mémoire de seconde année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : psychologie, spécialité : psychologie cognitive et neuropsychologie, parcours : psychologie cognitive recherche. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 63 p.
6. Taillefer, S., (2015). Influence de la mobilité et des performances cognitives sur la participation sociale des aînés. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : sciences cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 54 p.

7. Iordannof, M. (2015). L'influence de la mobilité et des performances cognitives sur la participation sociale des aînés. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : psychologie, spécialité : psychologie cognitive et neuropsychologie. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 49 p.
8. Blein, E., Couty, L. (2015). Erreurs de conduite chez les personnes âgées de 70 ans et plus. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : psychologie, spécialité : psychologie cognitive et neuropsychologie. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 59 p.
9. Adam, N. (2014). Mise en place d'un protocole experimental en vue de l'évaluation et de la comparaison de deux programmes d'entraînement cognitif dédiés aux conducteurs de plus de 70 ans. Mémoire de seconde année de Master en humanité et sciences humaines, mention sciences cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 48 p.
10. Pepin, G., Palluet, M. (2014). Mesure de l'effort cognitif lors de la conduite automobile par la réponse cardiaque évoquée. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : psychologie, spécialité : cognitive et neuropsychologie. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 41 p.
11. Rolland, V. (2013). Evaluation et gestion de l'effort mental en situation de conduite automobile. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : Sciences Cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 47 p.
12. Bonniaud, M. (2012). L'évaluation de la charge cognitive en conduite automobile. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : Sciences Cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 41 p.
13. Cerf, J.-E., (2011). Contrôle attentionnel dans la sélection d'informations pertinentes dans des scènes visuelles complexes. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : Sciences Cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 46 p.
14. Deniaud, C. (2011). Impact de deux types de tâches cognitives sur l'activité de conduite. Mémoire de Master en Ergonomie, Université Paris Sud XI, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 126 p.
15. Douissembekov, E. (2009). Effets de l'âge et de la distraction cognitive sur la recherche visuelle d'éléments routiers dans des scènes complexes. Mémoire de seconde année de Master en humanité et sciences humaines, mention sciences cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 28 p.

[MT] Mémoires de thèses (activité d'encadrement)

1. Hay, M. (2016). Apport des outils de réalité virtuelle à la formation continue des conducteurs seniors. Thèse de doctorat spécialité Physiologie, Biologie des Organismes, Populations, Interactions, UFR de Médecine, Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France, 315p.
2. Douissembekov, E. (2014). Analyse des besoins des conducteurs âgés et des adaptations mises en œuvre lors de la réalisation de manœuvres à basses vitesses. Thèse de doctorat mention sciences cognitives, Université Lyon2, Bron, France, 222 p.
3. Moták, L. (2011). L'apport des théories métacognitives à l'étude de l'autorégulation chez les conducteurs âgés. Thèse de doctorat mention psychologie cognitive, Université Lyon2, Bron, France, 178 p.

[RE] Rapports d'expertise

1. Lafont, S., Paire-Ficout, L., Gabaude, C., Fabrigoule, C. (2014). Dix propositions de mesures pour baisser l'accidentologie des personnes âgées, réponse à une demande du comité des experts du Conseil nationale de Sécurité Routière, 12p.

Organisation de manifestation grand public

1. Organisation de deux sessions (scientifique et grand public) et d'un stand lors de la journée Bien Vieillir, de l'ARC2 Qualité de vie et vieillissement, Université Lyon 2, Lyon, France, 29 novembre 2014.
2. Organisation d'un atelier « auto-estimation de ses propres capacités de conduite » suivi d'une table ronde sur « vieillissement et conduite » lors de la Semaine du cerveau, Lyon, France, 13 mars 2014.

[AFF] Communication par affiche

1. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Gabaude, C., Bocca, M.L. (2015). L'entraînement cognitif permet-il de corriger le biais de calibration des conducteurs de 70 ans et plus ? 28èmes Entretiens Jacques Cartier, 25-26 Novembre 2015, Bruxelles, Belgique.
2. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Gabaude, C., Bocca, M.L. (2015). Does the incorrect self-assessment of cognitive abilities of older adults can be improved by a cognitive training? A driving-related study. 18èmes Journée de l'EdNBISE, Rouen, France, 26-27 mars.
3. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.L., Gabaude, C. (2014). L'entraînement cognitif peut-il améliorer l'attention et les performances des conducteurs de plus de 70 ans ?. Journée bien vieillir, Université Lyon 2, Lyon, France, 29 Novembre.
4. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M-L., Gabaude, C. (2014). Comparison of the effectiveness of two cognitive training programs on driving behavior of older drivers presenting a cognitive self-assessment bias. 18th Annual Meeting of the LARC-Neurosciences Network, Caen, France, October 17th.
5. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M-L., Gabaude, C. (2014). Efficacité comparée de deux programmes d'entraînement cognitif pour les conducteurs âgés n'estimant pas correctement leurs capacités cognitives. XIIIème Colloque International sur le Vieillissement Cognitif - JEV, Caen, France, 15-16 Septembre.
6. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2014). L'entraînement cognitif peut-il améliorer l'attention et les performances des conducteurs de plus de 70 ans ? les rencontres scientifiques du Réseau de recherche en Sécurité Routière, Québec, Canada, 6 octobre.
7. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2014). Comparaison de deux programmes d'entraînement cognitif dédiés aux conducteurs seniors par une analyse coût-efficacité, Semaine du cerveau, Lyon, France, 13 juin.
8. Douissembekov, E., Gabaude, C., Rogé, J., Bonhoure, P., Navarro, J., Michael, G.-A. (2014). Effect of spatial reference on parking manoeuvring among drivers with different extents of visual and visuo-attentional field. Rencontres scientifiques 2014 de l'école doctorale Neurosciences et Cognition (ED 476 NDCo), France, May 15th.
9. Hay, M., Gálvez-García, G., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2013). Is galvanic cutaneous stimulation efficient to avoid Simulator Adaptation Syndrome among older drivers? Congrès LARC Neurosciences, Rouen, France, 25 octobre.
10. Hay, M., Adam, N., Ndiaye, D., Richard, B., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (2013). Comparaison de deux programmes d'entraînement cognitif dédiés aux conducteurs seniors par une analyse coût-efficacité. 26^{èmes} Entretiens Jacques Cartier, Lyon, France, 26-27 novembre.
11. Douissembekov, E., Gabaude, C., Rogé, J., Bonhoure, P., Michael, G.-A., Navarro, J. (2013). Analyse des besoins des conducteurs âgés et des adaptations mises en œuvre lors de la réalisation de manœuvres à basses vitesses. 26^{èmes} Entretiens Jacques Cartier, Lyon, France, 26-27 novembre.
12. Bellet, T., Gabaude, C., Jallais, C., Marin-Lamellet, C., Paire-Ficout, L., Pauzié, A., Rogé, J. (2011). La Psycho-Ergo appliquée aux transports : les activités du LESCOT. Colloque de synthèse et perspectives du GDR Psycho-Ergo, Toulouse, France, 4-6 avril.
13. Moták, L., Gabaude, C., Huet, N., Bougeant, J.C. (2011). L'autorégulation des âgés ? Etude en conduite automobile. Colloque de synthèse et perspectives du GDR Psycho-Ergo, Toulouse, France, 4-6 avril.

14. Masson, M., Marin-Lamellet, C., Colliot, P., Boisson, D. (2011). Réadaptation des processus attentionnels pour une population de traumatisés crâniens : application à la conduite automobile. Colloque de synthèse et perspectives du GDR Psycho-Ergo, Toulouse, France, 4-6 avril.
15. Ranchet, M., Paire-Ficout, L., Broussolle, E. (2011). Evolution de l'état cognitif dans la maladie de Parkinson: implications pour la conduite automobile. Colloque de synthèse et perspectives du GDR Psycho-Ergo, Toulouse, France, 4-6 avril.
16. Gabaude C., Lagarde E., Fort A., Lemerrier C., Pêcher C., Cour M., Maury B. (2011). Comment reconnaître un conducteur inattentif ? Vers la détection temps réel des états attentionnels dégradés. Carrefour Mi-parcours PREDIT 4, Bordeaux, France, 10–12 mai.
17. Galvez-Garcia, G., Zwick, G., Plaza, B., Michael, G.A. (2011). A better understanding of inhibitory process in simple and dual tasks. European Congress of Cognitive Psychology, San Sebastian, Spain, September 28th-October 2nd.

Annexe 6 : Sélection d'articles

1. Brelet, L., Moták, L., Ginet, M., Huet, N., Izaute, M., **Gabaude**, C. (in press). Enhancing older drivers' safety: on effects induced by stereotype threat to older adults' driving performance, working memory and self-regulation. *Geriatrics*, 2016, 1-20. doi:10.3390/geriatrics1030020
2. Douissembekov, E., **Gabaude**, C., Rogé, J., Navarro, J. Michael, & G.A. (2014). Parking and manoeuvring among older drivers: a survey investigating special needs and difficulties. *Transportation research part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 238-245.
3. 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, 18-27.
4. Moták, L., Huet, N., **Gabaude**, C., & Bougeant, J.-C. (2012). Older Drivers' Self-Regulation: Discrepancy Reduction or Region of Proximal Learning? *Psychology and Aging*, 27(4), 1164-1171.
5. **Gabaude**, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.) (2012). *Human Factors: a view from an integrative perspective*. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse, 67-80. ISBN 978-0-945289-44-9. Available from <http://hfes-europe.org>



Article

Enhancing Older Drivers' Safety: On Effects Induced by Stereotype Threat to Older Adults' Driving Performance, Working Memory and Self-Regulation

Lisa Brelet ¹, Ladislav Moták ^{1,*}, Magali Ginet ¹, Nathalie Huet ², Marie Izaute ¹ and Catherine Gabaude ^{3,4}

¹ Laboratory of Social and Cognitive Psychology (LAPSCO—UMR 6024), CNRS, University of Clermont Auvergne, 63000 Clermont-Ferrand, France; lisa.brelet@univ-bpclermont.fr (L.B.); magali.ginet@univ-bpclermont.fr (M.G.); marie.izaute@univ-bpclermont.fr (M.I.)

² Unité Mixte de Recherche 5263—CLLE-LYC, CNRS, Université Toulouse 2 Jean Jaurès, Maison de la Recherche, 31100 Toulouse, France; huet@univ-tlse2.fr

³ Université de Lyon, F-69622 Lyon, France; catherine.gabaude@ifsttar.fr

⁴ Laboratory Ergonomics and Cognitive Sciences applied to Transport (LESCOT), The French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR), F-69675 Brion, France

* Correspondence: ladislav.motak@gmail.com; Tel: +33-669-058-234

Academic Editor: Max Toepper

Received: 9 June 2016; Accepted: 18 August 2016; Published: 24 August 2016

Abstract: In a study concerned with driving behaviors of older drivers (mean age 70 years) in a driving simulator, our findings indicate that telling older drivers that they are more at risk of accidents because of their age and their driving performance-related decline (i.e., exposing them to a stereotype threat concerning older drivers) severely impairs their self-regulatory skills. Moreover, our results show that this is at least partly due to exhaustion of the executive resources (older drivers under stereotype threat tended to contradict the stereotype of being slow by driving faster), appearing also through working memory overload (older drivers under stereotype threat performed markedly less well in a modular arithmetic task than drivers in the control condition). We thus complete the existing evidence that older drivers' performance may be affected by socially-grounded factors, suggesting that simply being investigated may be enough to tax many capabilities in older people. We also propose that stereotype threat might be at least a partial explanation for why older drivers sometimes have poorer self-regulation performances after attending rehabilitation programs designed to make older drivers safer ones.

Keywords: older; driver; self-regulation; stereotype threat; working memory

1. Introduction

Older drivers are often said to attach great importance to the possibility of driving a car. Among other reasons, this might stem from the fact that driving a car is a way to maintain their daily social activities [1,2]. Moreover, giving up these social activities may be accompanied by severe pathological mood impairments, such as depression [3–5]. Given that aging is often associated with a decline in those cognitive functions that are involved in driving [6], the question has arisen whether, and to what extent, older adults are able to adjust their driving behavior according to these changes, that is are able to self-regulate [7,8].

Although not unequivocal, the evidence suggests that there is a great deal of self-regulation among normally-aging drivers. On the one hand, it has repeatedly been suggested that older drivers

report that they avoid difficult driving situations (e.g., driving during rush hour), congruently with assessments of their cognitive abilities and their confidence assessments [9–11]. For example, it has been argued that older drivers reduce their driving at night and in fog, providing their processing speed decreases [12–14], and avoid situations in which they feel less confident, such as driving at night and at night when it is raining [15,16]. In addition, there are behavioral data supporting the assumption that healthy older drivers are able to engage in successful self-regulation. For instance, older drivers appear to: (i) overtake less than their younger counterparts when driving on a multilane highway [17]; (ii) postpone distracting activities when approaching left/right turns [18]; and also (iii) avoid difficult driving situations more than their younger counterparts in simulated driving [19]. Finally, it has been concluded that older drivers exhibit self-regulatory patterns, on the basis of safety-related data indicating that healthy older drivers do not necessarily have an overly-increased risk of accident as compared to other populations of drivers [7].

An independent body of research suggests, however, that cognitive, physical and also self-regulatory performance may suffer when one is exposed to negative stereotypes. Indeed, when negative beliefs shared about a social group are highlighted and applicable, they result, under specific circumstances, in performance decreases in members of the group concerned. This phenomenon, called stereotype threat, has already been demonstrated in various domains (including intellectual performance [20], sports [21], mathematics [22,23], driving [24–26] and others [27]) and across different age groups ranging from children [28,29] to older adults [30–32].

In the context of driving, older adults have not only been found to be subject to stereotype threat [33], but also, consistently with the stereotype threat literature, older drivers under stereotype threat made more errors than drivers of the control group during a simulated driving task [34]. Along the same lines, [35] found that older drivers in threatening conditions presented longer brake reaction times and longer following distances than drivers who were not threatened. The deleterious effects of stereotype threat are particularly salient in older adults who value or otherwise ascribe some importance to driving (i.e., who strongly identify with the performance domain [34]) and in individuals with diminished working memory resources [35]. This is in accordance with the proposed process model of stereotype threat [36].

Following this model, stereotype threat, that is a threat to one's integrity, an imbalance between what one expects as success, on the one hand, and the stereotypically-primed performance deemed to be poor, on the other hand, acts as a stressor, leading to physiological stress reactions, cognitive monitoring and interpretative processes, affective responses and efforts to cope with these negative emotions [36]. Whether or not this reaction is more salient in terms of physiological stress response, in terms of monitoring the self-relevant performance (i.e., to what extent does my performance contradict the stereotyped one?) or in terms of thought suppression processes (i.e., while individuals try to extinguish the tiniest negative affect that would testify to the validity of the stereotype), the domain general resource, as [36] argues (and see also [37,38]), that would always be impacted is working memory (see Figure 1; p. 337, [36]). Therefore, disruption of optimal performance under stereotype threat would commonly occur in a variety of tasks due to working memory overload, despite several concrete pathways and discrete processes that link stereotype threat trigger to this working memory depletion. It is of note that stereotype threat-related negative impacts occur: (i) with an apparent will to contradict the stereotype at hand by whichever means (see [20]); (ii) in individuals who are highly involved in the task described (individuals for whom it "matters") [20]; and (iii) in tasks that necessitate controlled, in contrast to tasks soliciting automatic, processing [39,40].

Yet, how can information that points to an existing stereotype translate into, or, possibly, hinder, specific self-regulation patterns? In line with both the process model of stereotype threat and the evidence that poorer cognitive performance may stem from the depletion of working memory resources [36,37], it has become obvious to expect that stereotype threat causes a decrease in self-regulation capacity, exactly due to a previous overinvestment of the available resources in contradicting the stereotype at hand [24,41,42]. For example, although attending an elite

university, students with low socio-economic status (SES) had more concerns regarding their academic achievements and, consequently, were only able to self-regulate to a lesser extent, that is consumed more food during a task and showed more interference in a Stroop task, than students with high SES [43]. Similarly, Afro-American participants and women under stereotype threat have shown lower performances in tasks demanding some degree of self-control, be they tasks that were related to the stereotype threat at hand (Stroop test for Afro-American students [20]) or that were not (squeezing a handgrip exerciser for women [44]). Finally, this phenomenon has been replicated in women threatened about their lack of mathematical skills and impacts their self-regulation in such various and initially unrelated tasks as aggressive behaviors, eating and decision making [41].



Figure 1. View of the driving simulator during experiments.

To the best of our knowledge, however, virtually nothing is known regarding the effects of stereotype threat on the self-regulation of older drivers. In this article, we offer some evidence regarding both how stereotype threat impacts older drivers' self-regulation and the possible causal chain that links stereotyped information to specific patterns of self-regulation. In light of the previously-discussed theoretical frame and empirical evidence [36–39], the causal chain that we propose and test here is that when told that they are more at risk of accident because of their age and their driving performance-related decline (see [45–47] and also [48,49]), older drivers would try their hardest to contradict the stereotype at hand [20,36], which, in turn, would lead to an overinvestment of their working memory resources [37,38,50] and, finally, to the lack thereof for, and a poorer performance in, a subsequent task in which they should self-regulate [41,43,44].

In a previous study in simulated driving settings [19], older drivers drove in four circuits of increasing difficulty (combining, progressively, left turns, high-density traffic and restricted visibility conditions) and were then given a limited amount of time to train for a fictitious driving test. During this self-paced training, older drivers have been found to behave in a strategically-adapted manner given that they concentrated on the two easiest circuits where they certainly might enhance their performance before the oncoming driving test, while younger drivers concentrated rather on the two most difficult circuits. Moreover, both age groups started their training with somewhat easier circuits, moving only later to circuits of greater difficulty, which seems optimal for maximizing their learning uptake and assuring at least some degree of performance, although, even here, the global level of chosen difficulty was again lower for older than for younger drivers. It was therefore concluded that older drivers were as able to self-regulate as their younger counterparts were (see also [51,52]). It might then be expected that within a restricted training time, older drivers under stereotype threat, as compared with their control or even with their younger counterparts, would show no sign of allocating their training time selectively to a specific difficulty of circuits.

In the study described below that follows [19], two groups of older drivers had to complete four increasingly difficult driving circuits in a driving simulator and were then given a limited amount of

time to train for a fictitious test. Provided they were able to do so (e.g., [51]), drivers were expected to allocate their training time selectively on the basis of the circuits' difficulty [51,53]. Before engaging in the initial four circuits, one group of drivers was provided with stereotype threat-inducing instructions. We assumed that under stereotype threat (here, the stereotype of older drivers aged 65 years or over who are more at risk of traffic accidents than younger drivers; see also [33,35]), drivers would no longer be able to self-regulate accurately, that is would not be able to focus on circuits of specific difficulty [41,44] and, rather, would show random patterns of self-regulation, that is they would show random allocation of the available training time to different circuits' difficulty. We further predicted that this self-regulation impairment would occur: (i) as a consequence of drivers' conscious efforts to control their behaviors and contradict the stereotype at hand (e.g., drivers would do the contrary of what they had been told, that is drive faster under stereotype threat if they were told older drivers are riskier because of driving slowly [20,40]); and, therefore, (ii) as a consequence of spending working memory resources on tackling this task, that is due to working memory depletion appearing as a worse performance in tasks requiring substantial working memory resources [24,36,38].

2. Method

2.1. Participants

A total of 67 French older drivers aged 65 years or over took part in the study. All participants scored above 24 on the Mini-Mental State Examination [54] and stated that they were in excellent or good physical and mental health. They further stated that they were not taking any central nervous system medication, had been in possession of their driving license for at least three years and drove between 5 and 25 thousand kilometers each year. Unfortunately, owing to simulation sickness, we were only able to retain the data of 42 participants for further analyses. Drivers were assigned randomly to either the experimental group (i.e., under stereotype threat; $n = 21$) or the control group (i.e., without stereotype threat; $n = 21$; see Table 1). All drivers signed an informed consent form and were treated in accordance with the ethical standards of the American Psychological Association.

Table 1. Mean values and standard deviations of participants' main characteristics across both the stereotype threat and control samples.

Variable	Stereotype Threat		Control		<i>t</i>	<i>p</i>	Cohen's <i>d</i>
	Mean	SD	Mean	SD			
Male/female ratio	16/5		17/4				
Age (in years)	70.86	4.81	70.24	4.35	0.44	0.66	0.14
Annual mileage (in thousands of km)	14.48	6.36	13.67	6.28	0.42	0.68	0.13
Mini-Mental State (score out of 30)	29.00	0.78	29.19	1.29	0.58	0.57	0.18
Driving task involvement (9-point scale)	8.00	1.84	7.93	1.33	0.14	0.89	0.04
Manipulation check (9-point scale)	4.67	2.58	2.74	2.15	2.84	0.01*	0.81

Note: SD—standard deviation; *t*—value of Student's *t*-test for two independent samples; *p*—*p*-value; * $p < 0.05$. The Mini-Mental State (range 0–30) is a French translation of the original Mini-Mental State [55]. None of the mentioned differences reached significance across groups, except for the manipulation check.

2.2. Materials

2.2.1. Driving Task Involvement and Manipulation Check

Given that stereotype threat appears only in subjects for whom the task at hand really does matter (see [36] for a review), each driver first had to estimate to what extent "It is important for [him/her] to be a good driver" [37,38]. The stereotype threat manipulation was then checked, at the very end of our design, by the question "If I am not successful in driving the simulator, experimenters will believe that older drivers are less able to drive than younger drivers are", as drivers under stereotype threat were deemed to be more concerned by the experimenter's opinion than their control

counterparts. Both questions were followed by 9-point Likert scales ranging from 1 (don't agree at all) to 9 (absolutely agree).

2.2.2. Four Circuits of Increasing Difficulty

Counterbalanced across participants, four circuits lasting 4 min each, that is restricted to exactly 4 min whatever the distance driven by a participant, were presented to participants in a driving simulator. There were at least two reasons for restricting the time and not the distance driven, per participant. First, our aim was to reduce the duration of driving the simulator as this duration was positively correlated with simulator sickness phenomena. Second, and most of all, our measure of self-regulation depends conceptually on the ratio between time spent per circuit (4 min) and time available for training (6 min, that is leading eventually to strategic choices). Allowing drivers to spend more or less time in each of the four circuits would be detrimental to our measure of self-regulation.

The difficulty of the circuits was manipulated in a cumulative manner, by adding one difficulty at each level. For the purposes of our test, we identified and selected: (a) left turns, a typical high-risk situation for older adults [56]; (b) high-density traffic, a situation that older drivers are said to frequently avoid [57]; and (c) driving with restricted visibility (e.g., at night or in fog), also frequently avoided by older drivers [58]. Combining these three difficulties resulted in: (i) the simplest circuit, consisting mainly of straight roads with light traffic of approximately 20 cars; (ii) the second easiest circuit, also consisting only of light traffic, but with four left turns; (iii) a circuit combining the left turns with heavy traffic of approximately 80 cars; (iv) and the fourth and most difficult circuit, where we added foggy weather to Circuit 3 to restrict the drivers' visibility. All of the driving tasks were performed in a fixed-base fully-equipped driving simulator adapted from an initial Renault Espace cab (Figure 1), including all steering commands and a manual gear. A 3D visualization loop and a traffic simulation model developed by IFSTTAR (using, respectively, "SIM²" and "Dr²" software) were employed to simulate driving scenarios onto three forward screens with a 150° horizontal and 40° vertical field of view.

2.2.3. Self-Regulation: Perseverance

In order to examine self-regulatory patterns, the drivers were invited to train themselves before a forthcoming (fictitious) test in a self-paced manner, during a restricted time. The allowed training time (6 min) represented about one third of the time needed to drive around all four circuits (4 × 4 min), and drivers were expected to behave in a strategic manner, that is to focus selectively on these circuits where their learning uptake might be optimal, unless they were under stereotype threat and, therefore, with no specific pattern of self-regulation. The variable of interest here was perseverance, that is the proportion of time allocated to each circuit during the self-paced training [51,52]. Zero seconds were allocated to non-selected circuits. All of the instructions were presented in the participants' native language, that is in French. Translations are provided for the purpose of this paper, and the original French version is available upon request from the corresponding author. The exact wording introducing this training phase was as follows:

"In the previous circuits, your driving was more or less confident, more or less safe. We are now going to allow you a 6-min practice session, where you can train yourself to drive as safely as possible for the next test. Hence, you can go back over exactly the same circuits. Of course, you are free regarding the choice of circuits, the order in which you practice them, and the time you spend on each of them, but you must respect the 6-min time limit. Inside the simulator, on your right, you can see a timer indicating the amount of time left before the end of your training session. If you wish to change from one circuit to another at any time, just say 'stop' and announce the number of the circuit you would like to drive around next. What is the number of the circuit you would like to begin with?"

2.2.4. Working Memory Test: Modular Arithmetic

In order to quantify the cognitive resources possibly depleted under stereotype threat, we used a modular arithmetic task (Gauss, 1801, in [38]). Here, participants had to estimate whether the result of specific chains, e.g., $47 = 19 \pmod{4}$ was an integer (true) or a real number (false). To do so, the second number must first be subtracted from the first (i.e., $47-19$), and then, this difference must be divided by the last number (i.e., $28/4$). Importantly, the difficulty of these operations, and therefore, the working memory demands, can be easily manipulated. This is important because stereotype threat is not easy to capture in easy tasks [38,40], and one might therefore expect an interaction between the difficulty of items and stereotype threat manipulation: in fact, while no difference should occur in easy items, drivers under stereotype threat should show poorer performance as regards difficult items where the working memory resources allocated to tackling the stereotype at hand would appear as detrimental (i.e., causing an overload) to the mathematical problem resolution [36,39,40]. The final task thus consisted of eight easy, e.g., $6 = 3 \pmod{2}$, and eight difficult items, e.g., $47 = 19 \pmod{4}$, including also eight medium (filler) items, e.g., $19 = 3 \pmod{4}$. Following the previous findings [38], we were only interested in the percentage of correct answers at both the easy and the hard level of difficulty and not in resolution times. The task was performed using the DMASTR software ("DMDX") and an arranged keyboard with buttons "true"/"false" plugged into a personal computer with a 21-inch screen. The authors wish to thank K.I. Forster and J.C. Forster of the University of Arizona for their software, which is freely available [59].

2.3. Procedure

Upon their arrival, the participants were presented with a cover story (see [44] for similar examples), and throughout the experiment, we used a pre-recorded video, so as to avoid any experimenter-related effect. The exact wording was as follows:

"Today, we are interested in simulated driving. You might know that driving simulators are tools frequently used when assessing driving safety-related concerns. However, little is known about the impact of these tools on drivers' perception compared with real driving. This is why today we are trying to assess which changes should be made to the driving simulator tool so as to produce the same psychological processing as if we were driving a real car."

After this introductory part, all drivers answered a set of socio-demographic questions, including a driving task involvement scale, and were familiarized with the tasks to be done, i.e., driving the simulator (simple training session of 7–10 min) and performing the working memory task, that is modular arithmetic (12 items, 4 of each difficulty). As in previous research bearing on this task [38], only the participants who performed well (100%) or quite well (75%) on easy items were selected for further analyses, in order not to confound the effect of stereotype threat with learning difficulties regarding the modular arithmetic task.

The experimental phase began with the baseline measure of modular arithmetic (24 items, 8 of each difficulty), which occurred right before the stereotype threat priming. In fact, before completing the four circuits of increasing difficulty, drivers of the experimental group heard the following introduction deemed to induce the stereotype threat (adapted from [20,37]). Please note that the introduction ends by specifying in which respects older drivers might be considered to be more at risk of accident, thus prompting older drivers to contradict the stereotype at hand precisely in these aspects:

"You might be aware that people aged 65 years or over drive less safely than younger drivers. Clearly, reports concerned with driving safety emphasize that older drivers have more traffic accidents than younger drivers do. Given that we are not able to explain this phenomenon, the study in which you agreed to participate is designed to help understand these age-related differences. Therefore, your driving performance is going to be compared

with the driving performance of other participants, including younger drivers. Indeed, drivers aged 65 years or over are deemed to have more traffic accidents for at least the following two reasons: they drive too slowly and also hesitate too much before taking left turns.”

Drivers of the control group were simply provided with descriptions of the four circuits, and all of the drivers completed the four circuits of increasing difficulty. Afterwards, they were told that they could train for a forthcoming test. During this self-paced training session, we recorded their perseverance. Finally, all of the drivers performed the post-test modular arithmetic task (once again, 8 items of each difficulty), answered several questionnaires concerned with other issues published elsewhere [8], completed the manipulation check and were thanked and debriefed.

2.4. Statistical Treatments, Dependent Variables and Design

All dependent variables were treated using the comparison of means, be it through an independent- or a one-sample Student's *t*-test or through analysis of variance (ANOVA). The size effect is indicated using Cohen's *d* and partial η^2 , respectively. Any effects where $\alpha < 0.05$ were considered significant, but marginally significant effects are also discussed ($0.10 > \alpha \geq 0.05$).

Driving task involvement and manipulation check variables were submitted to *t*-tests, distinguishing the stereotype threat and the control groups. While driving involvement was expected to show no difference across groups, drivers of the stereotype threat condition were hypothesized to show higher levels of manipulation check, that is higher levels of concern that their driving performance would allow the experimenter to ascertain whether the stereotype at hand is a valid one or not.

Driving performance, used as a proxy of drivers' determination to contradict the stereotype at hand, was handled in two ways. First, a mixed two-way ANOVA compared the distances (and therefore, the average speed) driven by both groups of drivers across all four circuits as a whole. Second, average speed in specific portions of those four circuits, and mainly in three 90-km/h portions (Circuits 1, 2 and 3) and in three left turns (Circuits 2, 3 and 4), were compared across groups using *t*-tests, in order to specify whether older drivers under stereotype threat adopted higher speeds in the portions of interest. Only these portions were passed through by all drivers.

The perseverance in self-paced training, that is the variable that was crucial in ascertaining the self-regulation patterns of our drivers, was submitted to a two-way mixed ANOVA comparing time spent in different circuits across both groups of drivers. Given the lack of any significant effect between the groups, which was of primary interest in our study, an additional inter-subject variable of drivers' age category was added, in order to unravel its potential confounding effect on drivers' perseverance (see below).

Finally, the performance in modular arithmetic was examined through a three-way mixed ANOVA where mean scores were compared across both groups, between easy and hard items and also between baseline and post-test measures. Given that stereotype threat effects should only appear after stereotype threat priming (i.e., post-test) and in hard items, we expected a three-way interaction to appear.

3. Results

3.1. Driving Task Involvement and Manipulation Check

As can be seen in Table 1 (see above), descriptive values of the driving task involvement question were almost identical in the stereotype threat and control groups, and the very slight difference was not significant. Moreover, whatever the group, the mean scores were significantly greater than the theoretical middle of the scale, $t(20) = 6.13$ and $t(20) = 10.16$ for both, experimental and control groups, respectively, both $p < 0.001$, both Cohen's *d* > 1.33, indicating that drivers across both groups were involved in driving.

As regards the manipulation check, it appears that our priming was successful in that drivers induced with stereotype threat believed more strongly than their control counterparts that their driving

performance would be seen, by the experimenter, as diagnostic of their (stereotyped) group difficulties (Table 1). This effect, by the way, was of considerable magnitude, as Cohen's $d = 0.88$.

3.2. Driving Performance: Distances Driven in the Four Circuits

In the 42 participants selected for our analyses, there was a considerable range regarding the distances that were actually driven by each of the participants. Table 2 summarizes these distances across both groups.

Table 2. Mean, standard deviation, minimum and maximum values of distances driven by the participants across different circuits (in kilometers).

Circuit	Stereotype Threat				Control			
	Mean	SD	min	max	Mean	SD	min	max
1	3.65	7.58	2.54	5.20	3.27	8.00	1.84	4.55
2	3.39	5.70	2.15	4.49	3.06	4.93	2.02	3.88
3	2.34	6.38	1.51	3.36	2.00	4.25	1.18	2.84
4	2.51	4.42	1.90	3.46	2.35	5.00	1.19	3.05

Note: SD—standard deviation; min—minimal values; max—maximal values.

Overall, a 2 (group: stereotype threat vs. control) \times 4 (circuit difficulty: 1–4) mixed ANOVA with repeated measures on the second variable and with total distance driven per circuit as the dependent variable tended to show longer distances (and thus, greater speeds within the given time limit) in drivers of the experimental group (mean (M) = 2.97 km, standard deviation (SD) = 0.60 km) than in drivers of the control group, M = 2.67 km, SD = 0.55 km, $F(1, 40) = 3.86$, $p = 0.06$. This effect was of moderate magnitude ($\eta^2 < 0.09$), indicating that a fully significant, and not only marginal, effect of stereotype threat might have been achieved had greater sample sizes been available. This ANOVA also yielded a circuit effect, $F(3, 120) = 113.40$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.74$, such that distances in Circuits 1 and 2 were greater than the distances in Circuits 3 and 4, all $p < 0.001$ (Tukey's HSD test). Finally, there was no significant interaction effect of the two factors, $F(3, 120) < 1.00$, non-significant (*ns*).

3.3. Driving Performance: Driving Speeds in Specific Portions

From the situations that were driven through by all drivers, we kept for our analyses three straight lines limited to 90 km/h (Circuits 1, 2 and 3) and three left turns (Circuits 2, 3 and 4), situations that clearly corresponded to the points we stressed in our stereotype threat priming (i.e., pointing out that older drivers were slower on straight lines and hesitated before turning left). A series of Student's *t*-tests with group (stereotype threat vs. control) as a between-subject factor performed on all three 90 km/h items tended to show significant differences in the predicted directions, that is drivers under stereotype threat adopted marginally higher speeds than drivers in the control condition, all $t(40) \geq 1.44$, all $p \leq 0.08$, all Cohen's $d \geq 1.46$ (Table 3). These differences, pointing toward the same pattern, were even more clearly pronounced in the case of left turns in Circuits 2 and 3, both $t(40) \geq 1.85$, both $p \leq 0.04$ and both Cohen's $d \geq 0.57$. This difference remained marginal, again, in the case of the left turn in Circuit 4, $t(40) = 1.31$, $p = 0.09$, $d = 0.40$. Although several of the observed differences did not reach the predicted significance threshold of $\alpha < 0.05$, the observed results, and the associated size effects, tend to go in the direction of our hypothesis that drivers under stereotype threat engaged in contradicting the stereotype at hand and mainly in these specific portions that were directly targeted by our priming.

Table 3. Mean values and standard deviations (in kilometers per hour) and Student's *t*-test statistics of participants' speeds in specific portions of simulated circuits.

Circuit Portion	Stereotype Threat		Control		<i>t</i>	<i>p</i>	Cohen's <i>d</i>
	Mean	SD	Mean	SD			
90 km/h Circuit 1	67.10	18.18	59.04	15.41	1.55	0.07 #	0.48
90 km/h Circuit 2	61.92	16.34	55.37	12.85	1.44	0.08 #	0.45
90 km/h Circuit 3	57.02	10.33	51.80	12.46	1.48	0.07 #	0.46
Left turn Circuit 2	28.51	5.90	24.62	5.58	2.19	0.02 *	0.68
Left turn Circuit 3	11.56	4.25	9.61	2.74	1.85	0.04 *	0.57
Left turn Circuit 4	23.33	4.64	21.6	3.92	1.31	0.09 #	0.40

Note: SD—standard deviation; *t*—value of Student's *t*-test for two independent samples; *p*—*p*-value; # *p* < 0.10; * *p* < 0.05.

3.4. Self-Regulation: Perseverance

Contrary to our expectations, a 2 (group: stereotype threat vs. control) × 4 (circuit difficulty: 1–4) mixed ANOVA only revealed a marginal effect of circuit, $F(3, 120) = 2.32$, $p = 0.08$, $\eta^2 = 0.06$, indicating that drivers were not insensible to the circuit's difficulty. However, neither the effect of group nor the group × circuit interaction appeared as significant, both $F < 1.00$, *ns*.

Given that samples of older adults may easily appear heterogeneous in self-regulatory patterns (e.g., [60]), it is recommended that these samples be further distinguished into smaller and more coherent age subgroups. In this vein, and in order to unravel the potentially confounding effect of age, we divided both the experimental and control groups into subgroups of younger-older drivers ($n_1 = 11$, $M = 67.64$ years, $SD = 1.43$, and $n_2 = 15$, $M = 68.20$ years, $SD = 1.74$, for groups under vs. without stereotype threat, respectively) and older-older drivers ($n_3 = 10$, $M = 74.40$ years, $SD = 4.74$, and $n_4 = 6$, $M = 75.33$, $SD = 4.84$, respectively). This distinction was made on the basis of mean drivers' age (70 years), and younger-older drivers are thus represented by all drivers up to 70 years and older-older drivers by all drivers aged 71+ years. Drivers' self-regulatory patterns were then investigated applying a 2 (group: stereotype threat vs. control; between-subject factor) × 2 (age: younger-older vs. older-older; between-subject factor) × 4 (circuit difficulty: 1–4; within-subject variable) mixed ANOVA. This procedure revealed the main effect of circuit, $F(3, 114) = 3.81$, $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.09$, and circuit × age interaction, $F(3, 114) = 4.09$, $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.10$. Most importantly, however, this ANOVA yielded the expected three-way interaction, $F(3, 114) = 3.18$, $p = 0.03$, $\eta^2 = 0.08$.

As can be seen in Figure 2, when under stereotype threat, there was no difference in the time allowed for various circuits (that is, in perseverance), be it following the driver's age or the circuit's difficulty, all post hoc $p \geq 0.64$. On the other hand, very adaptive self-regulatory patterns did appear in the control condition. Here, younger-older drivers without stereotype threat focused their self-paced training mainly on Circuit 3 and less on Circuits 1 and 4, both $p \leq 0.05$. Older-older drivers focused their self-paced training mainly on Circuits 1 and 2 and less on Circuits 3 and 4, all $p \leq 0.001$. This suggests that while drivers without stereotype threat were able to target a specific difficulty level that might be a proxy of their adapted self-regulation, this was not the case for drivers under stereotype threat, who did not target any circuit difficulty in particular and showed a rather random pattern of self-regulation.

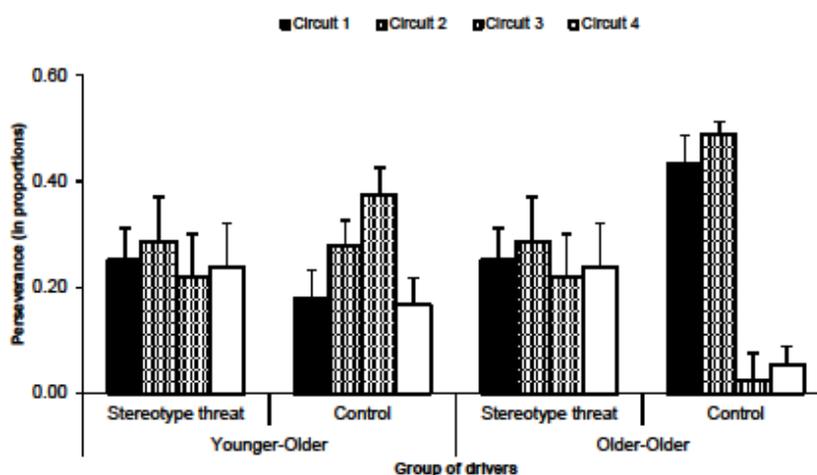


Figure 2. Mean proportion of time (perseverance) allocated to driving circuits of different difficulties and following stereotype threat priming and distinction of driver ages. Error bars indicate the standard error of the mean.

It is further of note that within control groups, older-older drivers focused their self-paced training more than younger-older drivers on Circuits 1 and 2, and less than younger-older drivers on Circuit 3; all $p \leq 0.02$. However, no such difference was observed within experimental groups, all $p \geq 0.57$. This indicates that the drivers not submitted to stereotype threat showed not only difficulty-specific, but also age-specific patterns of self-regulation. In fact, the older the drivers, the easier the preferentially-chosen circuits. However, here again, no such age-related adjustment could be seen in drivers under stereotype threat, suggesting that stereotype threat hindered self-regulation.

3.5. Working Memory Test: Modular Arithmetic

A 2 (group: stereotype threat vs. control) \times 2 (item difficulty: easy vs. hard) \times 2 (measure time: before vs. after stereotype threat priming) mixed ANOVA with repeated measures on item difficulty and measure time and with the percentage of correct answers as dependent variable revealed two main effects, $F(1, 18) = 6.47, p = 0.02, \eta^2 = 0.26$ for group and $F(1, 18) = 38.16, p < 0.001, \eta^2 = 0.68$ for item difficulty, but also several interactions. First, there was a group \times item difficulty two-way interaction, $F(1, 18) = 4.99, p = 0.04, \eta^2 = 0.22$, and also an item difficulty \times measure time two-way interaction, $F(1, 18) = 6.83, p = 0.02, \eta^2 = 0.28$. Most of all, however, this ANOVA yielded the expected, although only marginal, three-way interaction, $F(1, 18) = 3.99, p = 0.06, \eta^2 = 0.18$.

Although seemingly apparent from Figure 3, there was no difference between the two groups in pre- vs. post-test regarding the easy items, $p = 0.77$. However, while the two groups did not differ regarding the difficult items in pre-test ($p = 0.70$), they did so in post-test ($p = 0.001$), the mean difference being almost 20% of correct answers, Cohen's $d = 1.79$. Put differently, while the control group drivers tended to enhance their performance in hard items from pre- to post-test ($p = 0.06$), no such enhancement was observable in drivers under stereotype threat ($p = 0.19$), suggesting that tackling the stereotype threat at hand was working memory resources consuming.

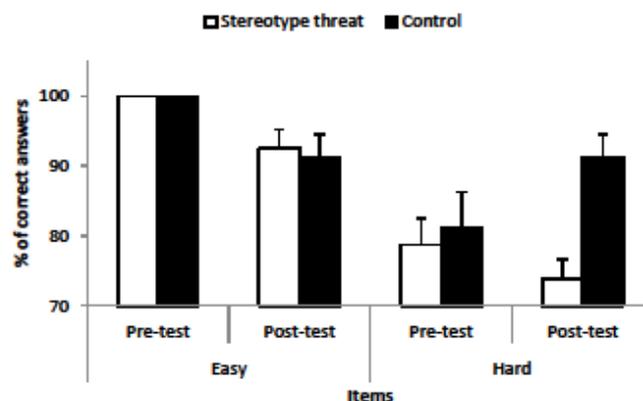


Figure 3. Mean percentage of correct answers across groups, difficulty of items and different measurement times. Error bars indicate the standard error of the mean.

4. Discussion

Our findings suggest that exposing older drivers to information on their possible age-related decline and stressing how this might increase their risk of accidents, leads them to self-regulate in a much less strategic way than control drivers are capable of. This result, while being somewhat counterintuitive at first glance, is fully in line with predictions from stereotype threat theory [36,39], which predicts that the threatened subjects are supposed to: (i) engage in conscious control of their behavior [20,40]; (ii) spend a substantial part of their working memory resources on tackling this task [37,50]; and (iii) lack exactly these resources in any subsequent task that would further imply their use, ranging from pure working memory tasks [38] through attentional allocation to other daily tasks, such as driving [24], and up to tasks requiring some degree of attentional or even physical self-control [41,44].

Our study lends at least some initial support to all of these predictions. Those older adults who were told they were more at risk of accidents in specific driving situations, such as straight lines and left turns, tended, on average, to drive faster than their control counterparts, exactly in these situations, but also in all four circuits in general. Interestingly, this is in line with findings of [34] where older drivers under stereotype threat committed more speeding infractions, as well; although in this case, they were simply primed with information that the experimenters' intention was to investigate why adults aged 65 or above were more involved in on-road accidents, without further specifying which situations would be of particular concern [34]. In fact, empirical evidence suggests that "older driver" stereotypes typically endorse slower driving speeds and left turn-related difficulties [33], and the increased speed of our older drivers under stereotype threat in the four circuits as a whole also seems to underpin this idea. In sum, however, older drivers under stereotype threat in our study at least tended to contradict the stereotype at hand in a more or less systematic manner.

This effort to contradict, however, had its costs. Unlike those from the control condition and although in a task that was otherwise unrelated to driving (i.e., modular arithmetic [38]), the older drivers under stereotype threat suffered from having allocated extra working memory resources to the driving task. While there was no significant difference regarding the easy items, older drivers under stereotype threat had a lower success rate in dealing with hard items than had their control counterparts, suggesting that part of their working memory resources was dedicated to managing the stereotype threat and, as our data tend to suggest, to contradict it (see also [24]). Thus, in line with the process model of stereotype threat [36], we observed that stereotype threat taxed working memory

resources [37], although more research is needed to ascertain which concrete pathways (e.g., particular emotional settings, such as anger [61] or anxiety [27], including their suppression, [50]) led to this effect. As [36] puts it, whether the first reaction to stereotype threat consists of a physiological stress response, of self-relevant performance monitoring or of negative thoughts and their suppression, the core cognitive component that is commonly impacted is the working memory, and this also was the case in our study in our older drivers.

The most important finding, still, is that stereotype threat seems to hinder the older drivers' ability to self-regulate in a strategic manner. Our data on drivers that were not impacted by stereotype threat suggest, in accordance with [19], that drivers of different ages are quite able to self-regulate in a strategic manner as they take into account both their age and the circuit's difficulty during self-paced training, that is they are able to focus on specific items where their learning uptake presumably approaches optimal values [51–53,62,63]. This is, by the way, in line with studies indicating that older drivers do reasonably regulate their driving in other driving tasks, such as overtaking [17] or postponing distracting activities when approaching intersections [18], and is also congruent with the research line concerned with older drivers' self-declared driving avoidance and its link to their cognitive abilities ([8,10,64], although see [65]).

Under stereotype threat, however, older drivers exhibited rather random patterns of self-regulation, that is patterns that did not appear to be adjusted either to their age or to the circuit's difficulty. On the one hand, stereotype threat has been shown to diminish self-regulatory and self-control skills in various tasks [41,43,44], and this is what we observed in our study. In addition, it has been argued that self-regulatory skills depend on the available working memory resources [66,67], and this was the case in our study, as well. Our findings thus complement the existing body of research on stereotype threat by confirming that its predictions apply not only to older drivers' driving performance, but also to older drivers' self-regulation. An interesting future research avenue would consist of exploring whether such effects remain even as regards other driving variables associated with self-regulation, and such research might concern both self-declared, as well as behavioral variables. Moreover, a comparison of driving simulator vs. real driving data could be of importance.

Beyond the described study, further preliminary support of our main finding on the deleterious effect of stereotype threat on older drivers' self-regulation comes from [19]. We merged the perseverance-related data from the current study and from [19] and performed additional analyses on the whole pool of data. This was possible given that the experimental design was exactly the same, except for the stereotype threat priming. As can be seen from Table A1 (see Appendix A), merging those two studies resulted in five subsamples of drivers ranging in age from 30 to more than 75 years and in much more statistically-acceptable sample sizes, mainly as regards the control groups of younger-older and older-older drivers. A 5 (group of drivers: young vs. younger-older control vs. older-older control vs. threatened younger-older vs. threatened older-older drivers) \times 4 (circuit difficulty: 1–4) mixed ANOVA with repeated measures on the second variable and perseverance as the dependent variable revealed the expected group of drivers \times circuit difficulty interaction, $F(12, 222) = 4.69$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.20$. As can be seen from Figure A1 (see Appendix A), the most impressive difference consisted of clearly discernible and age-specific allocation of training time in the control groups of any age, on the one hand, and its complete absence in the groups under stereotype threat on the other. More research is certainly needed to deepen our understanding of how stereotype threat acts on older drivers' self-regulation, but the preliminary data we provide in this article indicate that older drivers might achieve better self-regulation when not threatened by the omnipresent information that they show high accident rates or diminished driving performance.

One of the possible applications that warrants further research regards the way older drivers may be helped to be safer ones. There is evidence that rehabilitation curricula deemed to enhance drivers' self-regulatory skills do not necessarily lead to the expected results [46,47]. In fact, while many preventive measures have been designed to enhance drivers' awareness of their own cognitive functioning [49,68], the effectiveness of such curricula in terms of older drivers' self-regulation has yet

to be proven [69]. If anything, some of these curricula proved to impair older drivers' self-regulation, that is led objectively to an increase in older drivers' traffic accidents [47], despite very positive results regarding subjective descriptions given by drivers and considered as indicative of enhanced self-regulatory abilities [45]. This counterintuitive effect extends well over several studies and rehabilitation curricula [46], and although it does not necessarily touch all age groups of elderly drivers (the participants concerned in [46] were men aged 75 years and over; in [47], two thirds of the sample were men aged 74 years on average, suggesting some similarities across the two studies), it remains potentially concerning. Regarding the content of such curricula, it appears that many of them tend to provide older drivers with general information about presumable age-related cognitive declines and the associated driving safety-related concerns. Put differently, older drivers are told in which situations they may become more at risk of accidents providing they experience a particular cognitive decline [45,48,70]. Yet, presenting older drivers with such information resembles situations provoking stereotype threat [20,71], which, as [33] shows, does exist. While many questions remain in this regard (e.g., might stereotype threat extend over the long run, say, of several years, e.g., [47], and what would be the possible effects and evolutions over time, e.g., [23]?), we are still convinced that, first, this research niche merits further interest and that, second, while stereotype threat is "in the air" [20], avoiding possible stereotypes every now and then simply matters (e.g., [72,73]).

In this vein, which means could be put forward to overcome possible stereotype threat-related effects? The available literature has identified at least two ways that seem both feasible and efficient [36] and that might presumably apply as well in the population of older drivers. On the one hand, while stereotypes induce a threat by making salient one's membership of a stereotyped group [71], one way of counteracting their effects is to allow individuals to identify with other, more positively-connotated groups or individuals at the same time. For instance, it is recognized that women's performance suffers from stereotype threat when the tasks are presented as being diagnostic of women's mathematical abilities [23]. Yet, drops in performance may be avoided when women: (i) undergo stereotype threat priming (such as indicating that it is of interest to know why women perform worse in mathematics than men); but (ii) also have an opportunity to identify with otherwise valuable self-relevant groups, such as "college students" (which is positive in comparison with "non-college students" [71]) or "participants in psychology experiments" (where women would be better participants than men [74]; see also [75]). Curriculum-based intervention programs thus might benefit not only from introducing older drivers as being concerned by cognitive aging (negative stereotype), but also as presenting those older people who tend to remain active and socially involved (positive stereotype). This would presumably help older drivers to choose the positive, and not the conflicting, negative identity [71], leaving the working memory resources unaffected by a possible stereotype threat.

In addition, it appears that simply reappraising the situation and the possible stereotype threat-related side effects may help individuals to cope with the associated cognitive and emotional outcomes [36]. In the studies of [50], participants restored their working memory resources and increased their performance after having reappraised either the situation (i.e., were invited to observe their task at hand from an objective, and not personal, point of view; [50], Study 2) or their anxiety (i.e., were invited to consider the anxiety resulting from stereotype threat priming not as being harmful, but rather to conceive of it as a helpful way to increase their performance; [50], Study 3). A similar performance-saving effect has been achieved when explaining to women participants the rationale of stereotype threat, which, in turn, helped them to attribute anxiety to stereotype threat mechanisms and led, in fine, to a reduction of stereotype threat-related detrimental effects [76]. In the same vein, older drivers might presumably benefit from being aware not only of their age-related risks in particular driving situations (which might arguably increase the risk of stereotype threat priming), but also of the underlying stereotype threat-related mechanisms and how to reappraise them usefully. Such an approach would presumably lead older drivers to self-regulate better in the long run, despite potential priming of age-related stereotypes.

5. Conclusions

One way of approaching the issue of older drivers' safety is to look at their self-regulation skills. Evidence from the present research suggests that older adults under stereotype threat, that is fearing to confirm the negative stereotype of older driver, not only modify their driving performance but also show random, rather than adapted, patterns of self-regulation. We also propose preliminary evidence that this may occur due to working memory depletion. Future research will contribute to deepen our understanding of concrete pathways that link stereotype threat triggers to specific self-regulation patterns, and will thus pave the way to measures safely promoting better self-regulation in older drivers.

Acknowledgments: This research was supported by the "Territoires, Transports, et Société" research cluster of the Rhône-Alpes region, France, and by the PsychoErgo research group (Groupement de Recherche, GDR, CNRS 3169), France. The authors wish to thank Max Duraz and Daniel Ndiaye for their help in developing the driving scenarios, David Marsh for his valuable language contribution and three anonymous reviewers for their constructive comments on earlier drafts of this paper.

Author Contributions: L.B. contributed to the definitions and contents of the article, to its drafting and to data re-analysis as regards the merged data from this article and the 2012 study. L.M. together with N.H. and C.G. contributed to the study conception and design, gathered data and provided the first analyses. They also contributed to drafting. Finally, M.G. and M.I. contributed to the definitions and contents of the article, to the interpretation of the data and also to drafting and final revisions of the article as a whole.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The founding sponsor (Rhône-Alpes Region, France) had no role in the design of the study, in the collection, analyses or interpretation of the data, in the writing of the manuscript, nor in the decision to publish the results.

Appendix A

Table A1. Mean values and standard deviations of participants' ages (in years) and annual mileage (in thousands of kilometers) across different experimental conditions.

Variable	Younger Control		Younger-Older Control		Older-Older Control		Threat Younger-Older		Threat Older-Older	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
N	21		23		14		11		10	
M/F ratio	13/8		16/7		12/2		8/3		8/2	
Age	29.67	3.38	68.00	1.76	75.64	4.34	67.64	1.43	74.40	4.74
Annual mileage	15.38	8.06	14.09	8.27	12.93	6.18	15.23	7.05	13.65	5.76

Note: SD—standard deviation; Threat stands for threatened. Age is indicated in years, annual mileage in thousands of kilometers per year.

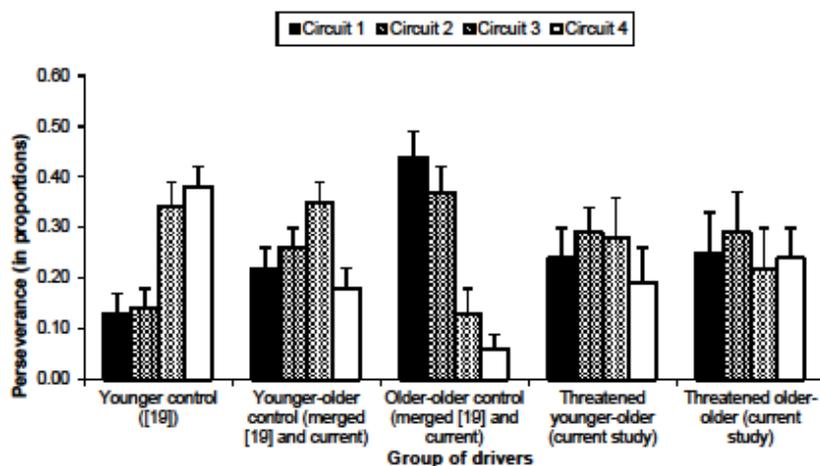


Figure A1. Mean proportion of time (perseverance) allocated by different groups of drivers to different circuits in the self-paced training. Error bars indicate the standard error of the mean. Comments: Younger drivers from the 2012 study [19] spent more of their training time in Circuits 3 and 4 than in Circuits 1 and 2, all $p < 0.006$. No difference was observed either between times spent in Circuits 3 and 4 ($p = 0.99$) or between times spent in Circuits 1 and 2 ($p = 0.88$). A focus on slightly easier items was observed in the younger-older control drivers, as they spent less of their time in Circuit 4 than younger drivers did ($p < 0.01$) and also more of their training time in Circuit 3 than in Circuit 4 ($p = 0.01$) and marginally more of their training time in Circuit 3 than in Circuit 1 ($p = 0.09$). Finally, the older-older control drivers focused their training time mainly on Circuits 1 and 2 and reliably less on Circuits 3 and 4, all $p < 0.003$, while there was no difference between times spent in Circuits 1 and 2 ($p = 0.75$) and in Circuits 3 and 4 ($p = 0.63$). This self-regulatory pattern was totally inverted in comparison with the one exhibited by younger drivers from the 2012 study (all $p < 0.03$), and the older-older drivers also spent more time in Circuit 1 and less time in Circuit 3 than the younger-older control drivers did (both $p = 0.02$).

References

1. Donorfio, L.K.M.; D'Ambrosio, L.A.; Coughlin, J.F.; Mohyde, M. To drive or not to drive, that isn't the question—The meaning of self-regulation among older drivers. *J. Saf. Res.* **2009**, *40*, 221–226. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Rudman, D.L.; Friedland, J.; Chipman, M.; Sciortino, P. Holding on and Letting Go: The Perspectives of Pre-seniors and Seniors on Driving Self-Regulation in Later Life. *Can. J. Aging* **2006**, *25*, 65–76. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Marottoli, R.A.; de Leon, C.F.M.; Glass, T.A.; Williams, C.S.; Cooney, L.M.; Berkman, L.F.; Tinetti, M.E. Driving cessation and increased depressive symptoms: Prospective evidence from the New Haven EPESE. *J. Am. Geriatr. Soc.* **1997**, *45*, 202–206. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Marottoli, R.A.; de Leon, C.F.M.; Glass, T.A.; Williams, C.S.; Cooney, L.M.; Berkman, L.F. Consequences of Driving Cessation: Decreased Out-of-Home Activity Levels. *J. Gerontol. Soc. Sci. Ser. B* **2000**, *55*, 334–340. [[CrossRef](#)]
5. Ragland, D.R.; Satariano, W.A.; MacLeod, K.E. Driving Cessation and Increased Depressive Symptoms. *J. Gerontol. Med. Sci. Ser. A* **2005**, *60*, 399–403. [[CrossRef](#)]
6. Anstey, K.J.; Wood, J.; Lord, S.; Walker, J.G. Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clin. Psychol. Rev.* **2005**, *25*, 45–65. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

7. Langford, J.; Koppel, S. Epidemiology of older driver crashes—Identifying older driver risk factors and exposure patterns. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* **2006**, *9*, 309–321. [[CrossRef](#)]
8. Moták, L.; Gabaude, C.; Bougeant, J.C.; Huet, N. Comparison of driving avoidance and self-regulatory patterns in younger and older drivers. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* **2014**, *26*, 18–27. [[CrossRef](#)]
9. Ball, K.; Owsley, C.; Stalvey, B.; Roenker, D.L.; Sloane, M.E.; Graves, M. Driving avoidance and functional impairment in older drivers. *Accid. Anal. Prev.* **1998**, *30*, 313–322. [[CrossRef](#)]
10. Wong, I.Y.; Smith, S.S.; Sullivan, K.A. The relationship between cognitive ability, insight and self-regulatory behaviors: Findings from the older driver population. *Accid. Anal. Prev.* **2012**, *49*, 316–321. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Emerson, J.L.; Johnson, A.M.; Dawson, J.D.; Uc, E.Y.; Anderson, S.W.; Rizzo, M. Predictors of Driving Outcomes in Advancing Age. *Psychol. Aging* **2012**, *27*, 550–559. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Charlton, J.L.; Oxley, J.; Fildes, B.; Oxley, P.; Newstead, S.; Koppel, S.; O'Hare, M. Characteristics of older drivers who adopt self-regulatory driving behaviours. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* **2006**, *9*, 363–373. [[CrossRef](#)]
13. Gabaude, C.; Marquié, J.-C.; Obriot-Claudel, F. Self-regulatory driving behaviour in the elderly: Relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Trans. Hum.* **2010**, *73*, 31–52. [[CrossRef](#)]
14. Rapoport, M.J.; Naglie, G.; Weegar, K.; Myers, A.; Cameron, D.; Crizzle, A.; Korner-bitensky, N.; Tuokko, H.; Vrkljan, B.; Bédard, M.; et al. The relationship between cognitive performance, perceptions of driving comfort and abilities, and self-reported driving restrictions among healthy older drivers. *Accid. Anal. Prev.* **2013**, *61*, 288–295. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Baldock, M.R.J.; Mathias, J.L.; McLean, A.J.; Berndt, A. Self-regulation of driving and its relationship to driving ability among older adults. *Accid. Anal. Prev.* **2006**, *38*, 1038–1045. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Oxley, J.; Charlton, J.; Scully, J.; Koppel, S. Older female drivers: An emerging transport safety and mobility issue in Australia. *Accid. Anal. Prev.* **2010**, *42*, 515–522. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Reimer, B.; Donmez, B.; Lavallière, M.; Mehler, B.; Coughlin, J.F.; Teasdale, N. Impact of age and cognitive demand on lane choice and changing under actual highway conditions. *Accid. Anal. Prev.* **2013**, *52*, 125–132. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
18. Charlton, J.L.; Catchlove, M.; Scully, M.; Koppel, S.; Newstead, S. Older driver distraction: A naturalistic study of behaviour at intersections. *Accid. Anal. Prev.* **2013**, *51*, 271–278. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Moták, L.; Huet, N.; Gabaude, C.; Bougeant, J.-C. Older drivers' self-regulation: Discrepancy reduction or region of proximal learning? *Psychol. Aging* **2012**, *27*, 1164–1171. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Steele, C.M.; Aronson, J. Stereotype threat and the intellectual test performance of african americans. *J. Pers. Soc. Psychol.* **1995**, *69*, 797–811. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. Stone, J.; Lynch, C.I.; Sjomeling, M.; Darley, J.M. Stereotype Threat Effects on Black and White Athletic Performance. *J. Pers. Soc. Psychol.* **1999**, *77*, 1213–1227. [[CrossRef](#)]
22. Spencer, S.J.; Steele, C.M.; Quinn, D.M. Stereotype Threat and Women's Math Performance. *J. Exp. Soc. Psychol.* **1999**, *28*, 4–28. [[CrossRef](#)]
23. Huguet, P.; Régner, I. Stereotype threat among schoolgirls in quasi-ordinary classroom circumstances. *J. Educ. Psychol.* **2007**, *99*, 545–560. [[CrossRef](#)]
24. Yeung, J.N.C.; von Hippel, C. Stereotype threat increases the likelihood that female drivers in a simulator run over jaywalkers. *Accid. Anal. Prev.* **2008**, *40*, 667–674. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Félonneau, M.-L.; Becker, M. Women at the wheel, danger round the bend. Are female drivers victim of a stereotype threat? *Psychol. Trans. Organ.* **2011**, *17*, 314–329.
26. Moè, A.; Cadinu, M.; Maass, A. Women drive better if not stereotyped. *Accid. Anal. Prev.* **2015**, *85*, 199–206. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Bourguignon, D.; Desmette, D.; Yzerbyt, V.; Herman, G. Stereotype activation, intellectual performance and action tendencies: The case of unemployed people. *Int. Rev. Soc. Psychol.* **2007**, *20*, 123–153.
28. Ambady, N.; Shih, M.; Kim, A.; Pittinsky, T.L. Stereotype Susceptibility in Children: Effects of Identity Activation on Quantitative Performance. *Psychol. Sci.* **2001**, *12*, 385–390. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Pansu, P.; Régner, I.; Max, S.; Colé, P.; Nezlek, J.B.; Huguet, P. A burden for the boys: Evidence of stereotype threat in boys' reading performance. *J. Exp. Soc. Psychol.* **2016**, *65*, 26–30. [[CrossRef](#)]
30. Hess, T.M.; Auman, C.; Colcombe, S.J.; Rahhal, Y.A. The Impact of Stereotype Threat on Age Differences in Memory Performance. *J. Gerontol. Ser. B Psychol. Sci.* **2003**, *58*, 3–11. [[CrossRef](#)]

31. Chasteen, A.L.; Bhattacharyya, S.; Horhota, M.; Yam, R.; Hasher, L. How Feelings of Stereotype Threat Influence Older Adults' Memory Performance. *Exp. Aging Res.* **2006**, *31*, 235–260. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Bouazzaoui, B.; Follenfant, A.; Ric, E.; Fay, S.; Croizet, J.-C.; Atzeni, T.; Tacconat, L. Ageing-related stereotypes in memory: When the beliefs come true. *Memory* **2016**, *24*, 659–668. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Joannisse, M.; Gagnon, S.; Voloaca, M. Overly cautious and dangerous: An empirical evidence of the older driver stereotypes. *Accid. Anal. Prev.* **2012**, *45*, 802–810. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Joannisse, M.; Gagnon, S.; Voloaca, M. The impact of Stereotype Threat on the simulated driving performance of older drivers. *Accid. Anal. Prev.* **2013**, *50*, 530–538. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Lambert, A.E.; Watson, J.M.; Stefanucci, J.K.; Ward, N.; Bakdash, J.Z.; Strayer, D.L. Stereotype Threat Impairs Older Adult Driving. *Appl. Cognit. Psychol.* **2016**, *28*, 22–28. [[CrossRef](#)]
36. Schmader, T.; Johns, M.; Forbes, C. An Integrated Process Model of Stereotype Threat Effects on Performance. *Psychol. Rev.* **2008**, *115*, 336–356. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Schmader, T.; Johns, M. Converging Evidence That Stereotype Threat Reduces Working Memory Capacity. *J. Pers. Soc. Psychol.* **2003**, *85*, 440–452. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Beilock, S.L.; Rydell, R.J.; McConnell, A.R. Stereotype Threat and Working Memory: Mechanisms, Alleviation, and Spillover. *J. Exp. Psychol. Gen.* **2007**, *136*, 256–276. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Mazerolle, M.; Régner, I.; Morisset, P.; Rigalleau, F.; Huguët, P. Stereotype strengthens automatic recall and undermines controlled processes in older adults. *Psychol. Sci.* **2012**, *23*, 723–727. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. Jamieson, J.P.; Harkins, S.G. Mere Effort and Stereotype Threat Performance Effects. *J. Pers. Soc. Psychol.* **2007**, *93*, 544–564. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
41. Inzlicht, M.; Kang, S.K. Stereotype Threat Spillover: How Coping With Threats to Social Identity Affects Aggression, Eating, Decision Making, and Attention. *J. Pers. Soc. Psychol.* **2010**, *99*, 467–481. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. Baumeister, R.E.; Bratslavsky, E.; Muraven, M.; Tice, D.M. Ego Depletion: Is the Active Self a Limited Resource? *J. Pers. Soc. Psychol.* **1998**, *74*, 1252–1265. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Johnson, S.E.; Richeson, J.A.; Finkel, E.J. Middle Class and Marginal? Socioeconomic Status, Stigma, and Self-Regulation at an Elite University. *J. Pers. Soc. Psychol.* **2011**, *100*, 838–852. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Inzlicht, M.; McKay, L.; Aronson, J. Stigma as Ego Depletion: How Being the Target of Prejudice Affects Self-Control. *Psychol. Sci.* **2006**, *17*, 262–269. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Owsley, C.; Stalvey, B.T.; Phillips, J.M. The efficacy of an educational intervention in promoting self-regulation among high-risk older drivers. *Accid. Anal. Prev.* **2003**, *35*, 393–400. [[CrossRef](#)]
46. Nasvadi, G.E.; Vavrik, J. Crash risk of older drivers after attending a mature driver education program. *Accid. Anal. Prev.* **2007**, *39*, 1073–1079. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Owsley, C.; McGwin, G.; Phillips, J.M.; McNeal, S.E.; Stalvey, B.T. Impact of an Educational Program on the Safety of High-risk, Visually Impaired, Older Drivers. *Am. J. Prev. Med.* **2004**, *26*, 222–229. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Eby, D.W.; Molnar, L.J.; Shope, J.T.; Vivoda, J.M.; Fordyce, T.A. Improving older driver knowledge and self-awareness through self-assessment: The driving decisions workbook. *J. Saf. Res.* **2003**, *34*, 371–381. [[CrossRef](#)]
49. Molnar, L.J.; Eby, D.W.; Kartje, P.S.; Louis, R.M.S. Increasing self-awareness among older drivers: The role of self-screening. *J. Saf. Res.* **2010**, *41*, 367–373. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
50. Johns, M.; Inzlicht, M.; Schmader, T. Stereotype Threat and Executive Resource Depletion: Examining the Influence of Emotion Regulation. *J. Exp. Psychol. Gen.* **2008**, *137*, 691–705. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
51. Metcalfe, J. Is Study Time Allocated Selectively to a Region of Proximal Learning? *J. Exp. Psychol. Gen.* **2002**, *131*, 349–363. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
52. Metcalfe, J.; Kornell, N. The Dynamics of Learning and Allocation of Study Time to a Region of Proximal Learning. *J. Exp. Psychol. Gen.* **2003**, *132*, 530–542. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
53. Metcalfe, J.; Kornell, N. A Region of Proximal Learning model of study time allocation. *J. Mem. Lang.* **2005**, *52*, 463–477. [[CrossRef](#)]
54. Amieva, H.; le Goff, M.; Stoykova, R.; Lafont, S.; Ritchie, K.; Tzourio, C.; Fabrigoule, C.; Dartigues, J. Trail making test: Normative data in a French elderly population from the three cities study. *Rev. Neuropsychol. Neurosci. Cognit. Clin.* **2009**, *1*, 70–74.

55. Folstein, M.F.; Folstein, S.E.; McHugh, P.R. 'Mini-Mental State' a practical state method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J. Psychiatry Res.* **1975**, *12*, 189–198. [[CrossRef](#)]
56. DMayhew, R.; Simpson, H.M.; Ferguson, S.A. Collisions involving senior drivers: High-risk conditions and locations. *Traffic Inj. Prev.* **2006**, *7*, 117–124.
57. Kostyniuk, L.P.; Molnar, L.J. Self-regulatory driving practices among older adults: Health, age and sex effects. *Accid. Anal. Prev.* **2008**, *40*, 1576–1580. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Hakamies-Blomqvist, L.; Wahlström, B. Why do older drivers give up driving? *Accid. Anal. Prev.* **1998**, *30*, 305–312. [[CrossRef](#)]
59. Forster, K. DMDX Display Software. Available online: <http://www.u.arizona.edu/~kforster/dmdx/dmdx.htm> (accessed on 23 August 2016).
60. Stine-Morrow, E.A.L.; Miller, L.M.S.; Gagne, D.D.; Hertzog, C. Self-Regulated Reading in Adulthood. *Psychol. Aging* **2008**, *23*, 131–153. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
61. Châteignier, C.; Chekroun, P.; Nugier, A.; Dutrévis, M. 'Death awaiting women drivers': Effect of stereotype threat and anger on women performance to a driving rules task. *Annex Psychol.* **2011**, *111*, 673–700. [[CrossRef](#)]
62. Son, L.K.; Sethi, R. Metacognitive control and optimal learning. *Cognit. Sci.* **2006**, *30*, 1–16. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
63. Kornell, N.; Metcalfe, J. Study efficacy and the region of proximal learning framework. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cognit.* **2006**, *32*, 609–622. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
64. Sullivan, K.A.; Smith, S.S.; Horswill, M.S.; Lurie-beck, J.K. Older adults' safety perceptions of driving situations: Towards a new driving self-regulation scale. *Accid. Anal. Prev.* **2011**, *43*, 1003–1009. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
65. Horswill, M.S.; Anstey, K.J.; Hatherly, C.; Wood, J.M.; Pachana, N.A. Older drivers' insight into their hazard perception ability. *Accid. Anal. Prev.* **2011**, *43*, 2121–2127. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
66. BSchwartz, L. Working memory load differentially affects tip-of-the-tongue states and feeling-of-knowing judgments. *Mem. Cognit.* **2008**, *36*, 9–19. [[CrossRef](#)]
67. Smith, J.D.; Coutinho, M.V.C.; Church, B.A.; Beran, M.J. Executive-Attentional Uncertainty Responses by Rhesus Macaques (*Macaca mulatta*). *J. Exp. Psychol. Gen.* **2013**, *142*, 458–475. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
68. Korner-Bitensky, N.; Kua, A.; von Zweck, C.; van Benthem, K. Older driver retraining: An updated systematic review of evidence of effectiveness. *J. Saf. Res.* **2009**, *40*, 105–111. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
69. Kez, K.; Roberts, L.; Collier, Y.; Beyer, E.; Bunn, F.; Frost, C. Post-licence driver education for the prevention of road traffic crashes: A systematic review of randomised controlled trials. *Accid. Anal. Prev.* **2005**, *37*, 305–313. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
70. Kua, A.; Korner-Bitensky, N.; Desrosiers, J.; Man-Son-Hing, M.; Marshall, S. Older driver retraining: A systematic review of evidence of effectiveness. *J. Saf. Res.* **2007**, *38*, 81–90. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
71. Rydell, R.J.; McConnell, A.R.; Beilock, S.L. Multiple Social Identities and Stereotype Threat: Imbalance, Accessibility, and Working Memory. *J. Pers. Soc. Psychol.* **2009**, *96*, 949–966. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
72. Suhr, J.A.; Gunstad, J. Further exploration of the effect of 'diagnosis threat' on cognitive performance in individuals with mild head injury. *J. Int. Neuropsychol. Soc.* **2005**, *11*, 23–29. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
73. Abrams, D.; Eller, A.; Bryant, J. An Age Apart: The Effects of Intergenerational Contact and Stereotype Threat on Performance and Intergroup Bias. *Psychol. Aging* **2006**, *21*, 691–702. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
74. McIntyre, R.B.; Paulson, R.M.; Lord, C.G. Alleviating women's mathematics stereotype threat through salience of group achievements. *J. Exp. Soc. Psychol.* **2003**, *39*, 83–90. [[CrossRef](#)]
75. Martens, A.; Johns, M.; Greenberg, J.; Schimel, J. Combating stereotype threat: The effect of self-affirmation on women's intellectual performance. *J. Exp. Soc. Psychol.* **2006**, *42*, 236–243. [[CrossRef](#)]
76. Johns, M.; Schmader, T.; Martens, A. Knowing is half the battle: Teaching stereotype threat as a means of improving women's math performance. *Psychol. Sci.* **2005**, *16*, 175–179. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]



© 2016 by the authors; licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Contents lists available at ScienceDirect

Transportation Research Part F

journal homepage: www.elsevier.com/locate/trf

Parking and manoeuvring among older drivers: A survey investigating special needs and difficulties



Evgueni Douisssembekov^{a,b,*}, Catherine Gabaude^{a,b}, Joceline Rogé^{a,b}, Jordan Navarro^c, George A. Michael^c

^a Université de Lyon, F-69622 Lyon, France

^b IFSTTAR-TS2-LESCOT, F-69675 Bron, France

^c Département de Psychologie Cognitive & Neuropsychologie, Institut de Psychologie, Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs, Université de Lyon, Université Lyon 2, Lyon, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 November 2013

Received in revised form 25 July 2014

Accepted 27 July 2014

Keywords:

Older drivers

Driving errors

Parking manoeuvres

Parking Behaviour Questionnaire

Driver Behaviour Questionnaire

ABSTRACT

A postal survey was conducted among 698 older French drivers in order to identify their special needs and difficulties encountered during parking. Their most frequent manoeuvres were back parallel and front perpendicular parking. A questionnaire, inspired by the Driver Behaviour Questionnaire, was developed to identify the psychological origins of parking errors and to examine its relative predictive value with respect to self-reported parking difficulties. Four types of aberrant parking behaviour were identified: slips or lapses, execution errors, anticipation errors and violations. Accident and/or incident history and reported aberrant parking behaviours are the strongest predictors of difficulties encountered during parking manoeuvres.

© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Driving is the main means of transport among seniors in the US and in many other industrialized countries (Hu & Reuscher, 2004; Oxley & Whelan, 2008; Sirén, Heikkinen, & Hakamies-Blomqvist, 2001). Consequently, it is essential in preserving the quality of life of older people (Banister & Bowling, 2004; Metz, 2000). A personal vehicle helps preserve their autonomy and social integration, and prevents isolation (Marottoli et al., 1997, 2000). However, ageing is accompanied by anatomical, physiological and cognitive changes that could affect driving performance. Such changes may affect vision and visual exploration such as decreased visual acuity (Owsley & Sloane, 1990) and neck and trunk mobility, decreased eye movement amplitude (Chamberlain, 1970; Clark & Demer, 2002; Clark & Isenberg, 2001), reduced useful visual field (Rogé, Pébayle, Campagne, & Muzet, 2005) and modify information updating and processing as well as executive functions (Adrian, Postal, Moessinger, Rasle, & Charles, 2011; Eby, Trombley, Molnar L. J., & J. T., 1998; Janke, 1994). As these processes are essential for driving, any decline could limit car use by older people (Fontaine, 2003; Tokoro, 2004).

For each trip completed, parking is an unavoidable complex activity. In addition to control of the vehicle's position and orientation, the driver must check the parking environment as much as possible to discriminate objects (McGwin, Chapman, & Owsley, 2000) and detect any obstacle or unexpected hazardous event. Driver must then expand the visual search, especially in the case of reverse parking. In such conditions, any decline in visual, physical and/or cognitive processes with ageing

* Corresponding author at: IFSTTAR-TS2-LESCOT, 25 Avenue F. Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France.

E-mail address: evgueni.douisssembekov@ifsttar.fr (E. Douisssembekov).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2014.07.011>

1369-8478/© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

could render the parking activity more difficult. Indeed, failure to turn the head to check back over the shoulder is the most frequent driving error during older drivers' license review tests (Di Stefano & Macdonald, 2003). Moreover, Herriots (2005) tried to identify specific vehicle design requirements based on particular difficulties experienced by older drivers. In his postal survey the most reported difficulty was turning to look out of the rear window. The main reason was restricted neck mobility, whereas the head restraint design of the vehicle was a minor factor.

The greater difficulty of driving can decrease the self-confidence of older drivers and forces them to develop self-regulatory behaviour. Generally, they reduce driving frequency and distance and avoid risky situations such as driving at night (Fontaine, 2003; Hakamies-Blomqvist, Raitanen, & O'Neill, 2002; Tokoro, 2004). Some recent studies provided a better understanding of older drivers' self-regulation. Charlton et al. (2006) found a tendency towards avoiding driving in participants that (1) were older females, (2) aged 75 years and older, (3) were not the principal driver in the household, (4) had been involved in a crash in the last 2 years, (5) participants who reported vision problems, and (6) had lower confidence ratings. Avoidance is also more often associated with drivers' inner states or adverse conditions than situations related to infrastructure (Sirén & Meng, 2013). Also, driving simulator studies suggest that older adults who were training for a road test were quite capable of undertaking self-regulatory behaviours on the basis of their metacognitive monitoring (Moták, Huet, Gabaude, & Bougeant, 2012). Self-regulation is also observed for parking manoeuvres. For example, in a survey, conducted among older Australian drivers, a strong correlation was found between self-confidence and avoidance of parallel parking, meaning that seniors who lacked confidence in performing this kind of manoeuvre managed to avoid parallel parking (Baldock, Mathias, McLean, & Berndt, 2006). In their survey, parallel parking is the most difficult and therefore the most avoided manoeuvre reported by older adults. Given that increasing difficulty of manoeuvring affects seniors' driving activity, it could also contribute to lower self-confidence in their overall driving skills.

Despite the avoidance strategy adopted by some individuals, the risk of parking accidents is still present. It is difficult to estimate the actual frequency of such accidents since accidentology databases often contain crashes involving corporal damage. However, some available data show that hitting something while reversing remains a frequent driving error among older drivers (Assailly et al., 2006; Joseoh-Theodore, 2000; Sullivan, Smith, Horswill, & Lurie-Beck, 2011). It is therefore important to understand the difficulties they encounter in order to identify driving assistance design requirements. Such an approach should lead to development of parking assistance adapted to this category of road users.

Studies centred on older drivers' behaviour while parking are still rare. That led us to conduct a postal survey in order to uncover special circumstances in which they are manoeuvring at home and elsewhere, and to describe and classify the parking difficulties they encounter. Secondly, in order to investigate the nature of such parking difficulties, we adopted an approach inspired by the Driver Behaviour Questionnaire (DBQ; Reason, Manstead, Stradling, Baxter, & Campbell, 1990). The Parking Behaviour Questionnaire (PBQ) was developed to study unsuitable or aberrant parking behaviours in order to identify factors linked to them. We also tested the external validity of the PBQ by exploring the links between aberrant parking behaviours and age, gender, annual mileage, functional limitation and history of parking accidents. Identification of aberrant parking behaviours of older drivers should help us to describe the difficulties they experience while manoeuvring. Moreover, we hypothesized that the level of parking difficulty should be predicted by reported aberrant parking behaviours.

2. Materials and methods

2.1. Participants

A questionnaire was mailed, in December 2011, to 2970 inhabitants of the Rhône department in France. Addresses were provided by the French Post Office, they were shared-out between two areas with different population densities. The address selection criteria were: (i) being retired; (ii) owning a car registration document. Among the returned questionnaires (28% without reminder), 698 were properly completed and could be included in the analyses (23.5%). The majority of respondents lived in medium-sized cities (between 20,000 and 100,000 inhabitants; 38.3%) and large cities (>100,000 inhabitants; 48.4%), remaining lived in small towns (13%) or did not answer the question about their place of residence (0.3%).

2.2. Material

The questionnaire included 75 items. A disclaimer on the front page stated that only people who drive regularly were invited to complete the questionnaire and send it back using a pre-paid envelope. The estimated time it should take a respondent to complete the questionnaire was about 15 min. Questions were divided into 7 sections: (1) general information on participants, (2) self-reported driving habits, (3) information on parking at home (4), information on parking elsewhere than at home, (5) onboard special equipment, (6) history of parking accidents and/or incidents within the last 3 years and (7) self-reported aberrant parking behaviours (adapted from the French version of the DBQ; Gabaude, Marquié, & Obriot-Claudel, 2010).

General information. Information was collected about age, gender, self-reported physical limitations impacting driving activity (head and trunk movements).

Self-reported driving habits included mean mileage per year and driving frequency per week.

Information on parking at home included parking lot situation, type of parking manoeuvre, presence and type of obstacles and criteria for parking space choice. The types of parking manoeuvre were defined as follows: perpendicular to the lane of

approach (side to side with other parked vehicles), parallel to the lane of approach (in a line with other parked vehicles), angle parking (at an angle to the lane of approach) and any other. Participants also had to indicate whether they parked in a forward or backward direction. For the sake of clarity, in the questionnaire, each type of manoeuvre was illustrated by an image.

Information on parking elsewhere than at home included the same questions as in the previous section (except the type of obstacles to parking), plus the manoeuvre they seek and the frequency of parking difficulties. For each type of parking difficulty, participants had to indicate on a 10 cm linear scale (0 = never; 10 = always) the frequency of occurrence of the mentioned behaviours. The linear scale was chosen instead of the Likert scale because it provides a more sensitive choice in responding. It is also easy to start with the higher positive values either on the left or on the right, to try to avoid uncontrolled responses from the participant.

Onboard special equipment concerned automatic gear, steering assistance and parking assistance (cameras or ultrasound). For parking assistance, some questions concerned the frequency of use of onboard equipment, its ease of use and the driver's degree of satisfaction. The participants had to indicate the frequency of use on a 10 centimetres linear scale (0 = Never; 10 = Always). The same type of scale was used to assess ease of use (0 = Very easy; 10 = Very difficult) and satisfaction regarding parking assistance (0 = Very satisfied; 10 = Not satisfied at all). The participants without parking assistance were invited to give their expectations about the use of parking assistance.

History of parking accidents and/or incidents within the last 3 years. Participants had to indicate whether as drivers they had been involved in at least one parking accident and/or incident. They were also required to indicate the frequency of collisions with parked vehicles on a 10 centimetre linear scale (0 = Never; 10 = Always).

Self-reported aberrant parking behaviours. Reason et al. (1990) proposed a conceptual framework to identify the origins of human errors. Three types of basic errors have been described (slips/lapses, mistakes and violations). Slips correspond to actions not carried out as intended or planned and lapses to missed actions and omissions. Mistakes are related to errors brought about by a faulty plan and violations to deliberate illegal actions. To explore aberrant parking behaviour, we developed a specific tool inspired by the DBQ. Seven questions were presented for each of the three previously mentioned categories. Overall, this section included 21 items. Two of them were unchanged from the original DBQ ('hit something when reversing' and 'illegal parking'); the remaining items were created (for example, 'doubts about steering direction while manoeuvring'). For each item, participants had to indicate on a 10 centimetre linear scale the frequency of occurrence of the mentioned behaviours during the past year (0 = Never; 10 = Always). The instructions given to the participants were the same as for the original DBQ (Reason et al., 1990), asking them to respond quickly and to be as honest as possible. The questionnaire and instructions are available on request from the authors.

2.3. Overall score of parking difficulty

In order to evaluate the parking difficulties encountered by our respondents, we built an overall score with three questions related to the behaviour of drivers trying or failing to overcome these difficulties. The questions investigated the frequencies of (i) collisions with parked vehicles while manoeuvring, (ii) asking another person for help, and (iii) rejection of a parking space because of manoeuvring difficulty. For each question, the answers could be given using the 10 centimetres linear scale described earlier. The scores given by the participants were used to calculate an overall score for parking difficulty as follows. The three situations were classified in terms of the driver's parking difficulties they represented. Colliding with parked vehicles received the highest coefficient of 3. Frequency of asking another person for help was given a coefficient of 2. Finally, rejecting a parking space was considered as being the minimum level of difficulty relative to the two previous situations and was given a coefficient of 1. The frequency scores were therefore multiplied by corresponding coefficients, and the results were added. The sum was divided by 6 so that the value of the overall score could be situated on a 10 centimetres linear scale from 0 (minimal parking difficulty) to 10 (maximal difficulty) points.

2.4. Statistical analysis

The exploratory analyses were conducted using Chi-squared tests for parameters that were of interest for the present survey. Principal component analysis was conducted to explore the internal validity of this version of the Parking Behaviour Questionnaire (PBQ). The introduction of the PBQ in this survey also allowed us to explore its external validity by using the factorial scores to analyse the relationship between aberrant parking behaviours, participants' characteristics, and self-reported physical limitations. Finally, sequential multiple linear regressions were conducted to understand how the identified factors predict the parking difficulties of older drivers. Analyses were conducted using the SPSS Statistics software (Version 15).

3. Results

3.1. Sample characteristics

3.1.1. General information and self-reported driving habits

Table 1 shows the main characteristics of the sample. Participants were between 65 and 92 years old ($M = 73.8 \pm 6.4$) and half of them were males (52.1%). About 19.2% of the participants reported physical limitations impacting their driving

Table 1
Characteristics of the sample (N = 698).

Variables	N	%
<i>Age (years)</i>		
65–74	399	57.2
≥75	299	42.8
<i>Gender</i>		
Male	364	52.1
Female	334	47.9
<i>Annual mileage</i>		
<3000 km	189	27.1
3000–8000 km	218	31.2
8000–13,000 km	182	26.1
13,000–18,000 km	59	8.5
>18,000 km	39	5.6
N/A	11	1.6
<i>Parking accident or incident/3 years</i>		
None	488	69.9
At least one	172	24.6
N/A	38	5.4
<i>Physical limitations</i>		
Yes	134	19.2
No	564	80.8

activity. Half of the sample (41.7%) drove 8000 km and over per year and reported a mean driving frequency of 4 times per week. About a quarter of respondents (24.6%) reported at least one parking accident during the last three years.

3.1.2. Information on parking at home

Most of the participants had a closed parking lot (58.2%). The parking lot was situated outside for 38.4% of the participants, and 2.3% reported a mixed parking lot situation, $\chi^2(2) = 340$; $p < 0.001$. The remaining participants did not respond (1.3%). Some manoeuvres were more frequent than others. Perpendicular forward parking was reported as being the most frequent manoeuvre (54.7%), followed by perpendicular reverse parking (20.3%), angle reverse parking (10.2%), parallel forward parking (6.7%), angle forward parking (4.6%) and parallel reverse parking (3.4%), $\chi^2(5) = 771$; $p < 0.001$. Already parked vehicles were reported by 19.9% of the participants as being the most common obstacle for parking at home. Other obstacles were small objects such as kerbs and posts (7.4%), moving obstacles like traffic, pedestrians and cyclists (5.6%) and, finally, lack of available space for manoeuvring (3.5%).

The most important criterion for choice of a parking space was the ease of manoeuvring (mentioned in 18.7% of responses). In second and third positions were the type of manoeuvre and safety for the driver and his/her vehicle (18.7% and 17%, respectively). The space available for manoeuvring was cited in 15.9% of responses and the parking tax in 2.8%.

3.1.3. Information on parking elsewhere than at home

Most of the participants parked in urban (56.7%) and suburban (19.2%) environments. Parking in a rural environment was reported by 9.4% of participants. Parking in a private street while visiting relatives was reported by 11.1% of participants, and in a public parking lot by 3.6% of participants. The most reported type of manoeuvre performed was parallel backward parking (44.8%), followed by perpendicular forward parking (29.3%), forward angle parking (10.8%), perpendicular reverse parking (7%), parallel forward parking (4.1%) and angle reverse parking (4%), $\chi^2(5) = 553$; $p < 0.001$.

Parking difficulties included the frequency of rejection of a parking space because of the manoeuvre's difficulty ($M = 3.4$; $SD = 2.8$) and the frequency of asking another person for help ($M = 1.1$; $SD = 1.8$). The mean frequency of impacts with parked vehicles while manoeuvring was equal to 2 ($SD = 2.1$). The mean overall score of parking difficulties calculated on the basis of the frequencies of each situation was equal to 1.4 ($SD = 1.27$).

3.1.4. Use of onboard special equipment

Most of the participants had steering assistance (82.5%), but not parking assistance (19.2% cameras and/or ultrasound sensors) and automatic gear (11.2%). The mean score of parking assistance usefulness was 8.4 ($SD = 2$). Overall, the participants evaluated their system as not easy to use ($M = 1.7$; $SD = 2.4$), although the mean level of satisfaction was 7.8 ($SD = 2.9$).

Participants expressed their expectations regarding parking assistance. Three hundred and fifty-five responses were collected¹. The most important expectation concerned information on the parking environment (obstacle detection and/or

¹ Because several respondents provided more than one response, despite the instruction to provide only one, we prefer to report the total number of responses instead of the total number of respondents.

Table 2
Item characteristics ($N = 15$), factor structure and loadings.

Brief description of items	Risk level	F1 Slips or lapses	F2 Mistakes	F3 Anticipation errors	F4 Violations
Colliding with something	1	0.559			
Stalling	0	0.511			
Failed manoeuvre	0	0.493			
Forgetting to check the rear view mirrors	0	0.466			
Forgetting where the car was left	0	0.441			
Doubts about steering direction	0	0.346			
Misjudgement of other vehicles' speeds	0		0.630		
Mishandling	0		0.556		
Shifting into wrong gear	0		0.500		
Leaving a parking space too quickly	0			0.624	
Sudden braking before parking	1	0.306		0.471	
Omitting turn signals	0			0.305	
Crossing continuous white line	2				0.611
Parking the wrong way	2				0.399
Illegal U-turn	2				0.332

Note. For the sake of clarity, factor loadings below 0.30 have been omitted. The levels of risk were defined by Reason et al. (1990) as follows: 0 – no risk to other users, 1 – possible risk to others and 2 – a definite risk to others.

available space; 60.8%), the reliability of the device (36.6%), whilst the need for automatic parking was spontaneously mentioned in only 2.5% of responses.

3.2. History of parking accidents and/or incidents within the last 3 years

At least one parking accident or incident during the last three years was reported by 24.6% of participants, while 69.9% reported no incident. The remaining (5.4%) did not respond. In cases of a parking accident and/or incident, the most damaged parts of the car were the bumpers and wings (47.5% and 24.7%, respectively).

3.3. Validity of the PBQ

Principal component analysis with varimax rotation was conducted on the answers to the 21 questions of the PBQ. As the distributions of collected data were not normal, the method of unweighted least squares was applied. According to Kaiser's criterion, 6 factors were identified, but two of them were strictly associated with only one question (illegal turn or not paying parking tax) and were therefore discarded. The results of the principal component analysis are shown in Table 2. Four factors explained 40.5% of the total variance. The first factor (F1) concerned slips and/or lapses and explained 22.2% of the total variance (Cronbach's $\alpha = 0.68$). The second factor (F2) covered mistakes and explained 7.1% of the total variance (Cronbach's $\alpha = 0.65$). The third factor (F3) concerned errors of anticipation and explained 5.9% of the total variance (Cronbach's $\alpha = 0.55$). The fourth factor (F4) mainly concerned deliberate violations and explained 5.3% of the total variance (Cronbach's $\alpha = 0.41$). Four questions (taking the wrong parking space, being surprised by a vehicle leaving its parking space, embarrassing parking and illegal parking) did not load on any other factor.

3.4. Predictors of the score of parking difficulty

We examined the relative predictive value of the PBQ with respect to parking difficulties expressed by drivers. Three sequential multiple regression analyses were performed with the personal characteristics and reported aberrant parking behaviours as independent variables, and the score of overall parking difficulties as dependent variable. We entered in the regression models age, gender, frequency of driving per week, and accident or incident history, which are variables with a known or suspected influence on self-regulatory behaviours. These variables were entered as independent variables in the first analysis (model 1). In the second (model 2), perceived functional limitations and personal relation to driving were added. In the third analysis (model 3), the four PBQ factor scores (slips or lapses, execution errors, anticipation errors and violations) were also added.

As shown in Table 3, in model 3 the parking difficulty score was significantly predicted by 6 variables, which explained 36.5% of the total variance. In order of decreasing importance, the results showed that parking difficulty was greater among drivers who reported at least one parking accident or incident during the last three years, who made more execution errors during manoeuvres, who made more slips and/or lapses while manoeuvring, who committed more parking rule violations, who perceived driving as a necessity rather than as a pleasant activity, and who made fewer anticipation errors while manoeuvring. Functional limitations and personal relation to driving were poorer predictors of parking difficulty score as they added only 2% of the explained variance in model 2. Aberrant parking behaviours and execution errors were the best predictors of the parking difficulty score since they increased the explained variance by 15% (model 3).

Table 3
Predictors of the parking difficulty score: sequential multiple regression analyses for the whole sample.

	Model 1 β standard	n = 698 Model 2 β standard	Model 3 β standard
Age	0.016	0.021	-0.023
Females (vs. males)	0.021	0.014	-0.013
Frequency of driving per week	-0.094*	-0.078*	-0.06
At least one parking accident or incident/3 years (vs. none)	0.427**	0.419**	0.356**
No functional limitations (vs. at least one)		-0.014	-0.022
Driving is a necessity (vs. a pleasure)		0.152**	0.116**
Slips or lapses (F1)			0.214**
Execution errors (F2)			0.27**
Anticipation errors (F3)			-0.109**
Violations (F4)			0.133**
Coefficient of determination R^2	0.19	0.21	0.36
R^2 change in relation to the previous model		0.02	0.15

Note: F1, F2, F3, F4: factorial scores for the three factors extracted from the Parking Behaviour Questionnaire.

* $P \leq 0.05$.

** $P \leq 0.01$.

4. Discussion

Parking rarely attracts researchers' attention even though it is unavoidable whenever one has to drive. Although older people drive less, they are still confronted by the need to execute parking manoeuvres. New parking assistance devices have been developed, showing the growing interest in assisting this kind of manoeuvre. However, the behaviours of drivers with special needs have not been studied. For this purpose, we developed a specific questionnaire to better describe the parking difficulties of older people, to identify their aberrant parking behaviours, and to predict their level of difficulty while manoeuvring.

As regards older drivers' parking behaviour in everyday life, perpendicular forward and parallel backward parking are the most frequent manoeuvres, the former being mostly performed at home and the latter elsewhere than at home. Nowadays, both types of manoeuvres can be assisted by dedicated systems. The use of such assistance may increase comfort during parking, especially by providing information about obstacles. This has been confirmed by respondents owning parking assistance devices, even though they find them difficult to use. Moreover, we expect that the use of parking assistance will also decrease the frequently reported rejection of a parking space (which seems too difficult to park in) and in the end improve the efficiency of urban trips. Since older drivers expressed specific needs for parking assistance devices, it is important to take them into account in order to improve their usability. A better description of older drivers' parking difficulties offers an opportunity to design user-friendly and efficient parking assistance. A better communication on their advantages should also lead to a higher deployment for this type of driving assistance.

To improve the description and classification of older drivers' aberrant parking behaviour, we developed a specific tool inspired by the DBQ. Our results confirmed the typology already described (Martinussen, Hakamies-Blomqvist, Møller, Özkan, & Lajunen, 2013; Rimmö & Hakamies-Blomqvist, 2002). We identified four types of aberrant parking behaviours (slips or lapses, execution errors, anticipation errors, violations). Execution errors and slips or lapses during manoeuvring explain the bulk of parking difficulties expressed by older drivers. This could stem from the properties of the parking itself. Low-speed manoeuvres are often made in dedicated areas with speed limits and low traffic. In such conditions, successful parking is mostly dependent upon the driver's ability to survey the environment and to control the vehicle's position. Therefore, slips or lapses like failing to see obstacles are more likely to account for difficulties and potentially failed manoeuvres. Furthermore, age-related cognitive changes could account at least partly for difficulties in surveying the environment while reversing (see Eby et al., 1998; Janke, 1994 for review). The second type of aberrant behaviour, execution errors, could be attributed to failures of attention leading to erroneous actions (Reason et al., 1990). The third type was anticipation errors, like being surprised by a vehicle leaving its parking space, which can be attributed to failure to take into account the possible presence of other drivers. The more older drivers fail to notice the presence of other drivers, the less they anticipate their actions. Finally, the last type of aberrant behaviour is violations. Despite the common representation of older people as careful road users (Parker, McDonald, Rabbitt, & Sutcliffe, 2000), our respondents declared some risky or illegal behaviour. Previously, it was shown that an educational intervention increased self-regulation behaviour among high-risk older drivers (Owsley, Stalvey, & Phillips, 2003). Such interventions could also take into account their parking difficulties. To better identify the difficulties encountered by the trainees, the PBQ could be used. Moreover, it could offer the opportunity to adapt the intervention according to the four types of parking aberrant behaviours previously described and give clearer guidance regarding the strategies to adopt.

We also tried to identify factors that could predict the level of parking difficulties among our sample of older drivers, taking into account general information and reported aberrant driving behaviours. A similar approach has already been adopted by some authors who have shown that active accident involvement among older drivers seems to be associated with errors

and lapses of attention, while passive accidents are associated with lapses only (Parker et al., 2000). Regarding the prediction of avoidance of difficult driving situations by older drivers, perceived abilities play a major role, while aberrant driving behaviour contributes less (Gabaude et al., 2010). In contrast, the difficulty of manoeuvring is mainly predicted by the history of parking accidents and/or incidents within the last 3 years, and also by reported aberrant parking behaviours. In decreasing importance, difficulty was more frequently expressed by people who had at least one parking accident and/or incident within the last three years. It was followed by those reporting execution errors, slips or lapses, those considering driving as a necessity rather than a pleasure, and those reporting violations. Lastly, the difficulty of manoeuvring was less frequently expressed by people reporting fewer anticipation errors. Surprisingly, declared functional limitations had no significant influence on parking difficulties reported by the respondents. Two arguments can be adduced to explain this. Firstly, the existence of self-declared functional limitations was collected by asking participants whether they felt limited in their movements. It would have been better to ask directly whether or not they were actually limited. Secondly, it is possible that road users who feel they are functionally limited unconsciously adopt adaptive strategies to overcome parking difficulties. It can thus be concluded that, compared with general information and self-declared functional limitations, reported aberrant parking behaviours are more parsimonious predictors of difficulties encountered during parking manoeuvres among older drivers. To investigate the real impact of functional limitations on parking behaviours of older drivers, an experimental study will be conducted to better describe the adaptive strategies adopted.

The present study has some limitations. To take into account the social characteristics and driving habits of the targeted population, the questionnaire was sent out to two areas with different population densities. The largest proportion of respondents resided in an urban environment. This over-representation of urban inhabitants in our sample is confirmed by the return rates obtained in a previous survey by Gabaude et al. (2010), using the same method. The current sample does not reflect the entire population of older drivers, but does provide a better overview of the parking difficulties encountered by older drivers, who are more likely to share their experience (probably linked to the lack of parking spaces in the city of Lyon; Lemoine, de Laboulaye, Delourme, & Menand, 2010). Moreover, the use of self-reported measures only approximates current driving ability and behaviour. A small social desirability bias has been demonstrated for the DBQ (Lajunen & Summala, 2003) and the same can be expected for the PBQ, particularly for anticipation errors. Furthermore, the assessment of parking difficulty including only three items should have been more comprehensive, taking into account the various phases of the manoeuvres, for example. Future work should try to overcome these methodological limitations by studying the real behaviour of older drivers compared with younger ones and by collecting objective measures about the difficulty of the manoeuvres. This would also be an opportunity to explain better the failures of attention identified through aberrant driving behaviour by describing their actual impact on parking.

Acknowledgments

This study was supported by Valeo. We also wish to thank Véronique Gabriele and Patrice Taraud from IFSTTAR, Patrick Bonhoure from Valeo and Jean-Michel Guillaud from La Poste for their contributions.

References

- Adrian, J., Postal, V., Moessinger, M., Rasde, N., & Charles, A. (2011). Personality traits and executive functions related to on-road driving performance among older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1652–1659.
- Assailly, J.-P., Bonin-Guillaume, S., Mohr, A., Parola, A., Grandjean, R., & Frances, Y. M. (2006). Les conducteurs âgés en bonne santé font plus d'erreurs et d'oublis que d'infractions: Enquête auprès de 904 volontaires. *La Presse Médicale*, 35(6), 941–947.
- 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 and Prevention*, 38, 1038–1045.
- Banister, D., & Bowling, A. (2004). Quality of life for the elderly: The transport dimension. *Transport Policy*, 11(2), 105–115.
- Chamberlain, W. (1970). Restriction in upward gaze with advancing age. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 68, 234–244.
- Charlton, J., Oxley, J., Fildes, B., Oxley, P., Newstead, S., Koppel, S., et al. (2006). Characteristics of older drivers who adopt self-regulatory driving behaviours. *Transportation Research Part F*, 9(5), 363–373.
- Clark, R. A., & Demer, J. L. (2002). Effect of aging on human rectus extraocular muscle paths demonstrated by magnetic resonance imaging. *American Journal of Ophthalmology*, 134(6), 872–878.
- Clark, R. A., & Isenberg, S. J. (2001). The range of ocular movements decreases with aging. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 5(1), 26–30.
- Di Stefano, M., & Macdonald, W. (2003). Assessment of older drivers: Relationships among on-road errors, medical conditions and test outcome. *Journal of Safety Research*, 34, 415–429.
- Eby, D. W., Trombley, D. A., Molnar L. J., & Shope, J. T. (1998). *The assessment of older drivers' capabilities: A review of the literature*. Document consulted September 3, 2012 from: <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/1245/91182.0001.001.pdf?sequence=2>.
- Fontaine, H. (2003). Âge des conducteurs de voiture et accidents de la route: Quel risque pour les seniors? *Recherche – Transports – Sécurité*, 79–80, 107–120.
- Gabaude, C., Marquié, J.-C., & Obriot-Claudel, F. (2010). Self-regulatory driving behaviour in the elderly: Relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Le Travail Humain*, 73(1), 31–52.
- Hakamies-Blomqvist, L., Raitanen, T., & O'Neill, D. (2002). Driver ageing does not cause higher accidents per km. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology Behaviour*, 5, 271–274.
- Herriots, P. (2005). Identification of vehicle design requirements for older drivers. *Applied Ergonomics*, 36, 255–262.
- Hu, P. S., & Reuscher, T. R. (2004). *Summary of travel trends: 2001 national household travel survey*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Janke, M. (1994). *Age-related disabilities that may impair driving and their assessment. Literature review*. Sacramento, CA: Department of Motor Vehicles.
- Joseph-Theodore, V. (2000). *Personnes âgées et conduite automobile: Typologie des accidents de la circulation des conducteurs âgés sociétaires MAIF*. Document consulted August 28, 2010 from: http://www.fondation-maif.fr/fondation/ressources/pdf/DESS-conducteursagesmaif_rf.pdf.

- Lajunen, T., & Summala, H. (2003). Can we trust self-reports of driving? Effects of impression management on driver behaviour questionnaire responses. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(2), 97–107.
- Lemoine, A., de Laboulaye, E., Delourme, D., & Menand, S. (2010). *Focus parkings*. Document consulted November 8, 2013 from: www.cbre.fr/fr/etudes/focus/focus..left/cbre_focus_parking.pdf.
- Marottoli, R., Mendes de Leon, C., Glass, T., Williams, C., Cooney, L., & Berkman, L. (1997). Driving cessation and increased depressive symptoms: Prospective evidence from the New Haven EPESE (established populations for epidemiologic studies of the elderly). *Journal of the American Geriatrics Society*, 45(2), 202–206.
- Marottoli, R., Mendes de Leon, C., Glass, T., Williams, C., Cooney, L., & Berkman, L. (2000). Consequences of driving cessation: Decreased out-of-home activity levels. *Journal of Gerontology*, 55B(6), 334–340.
- Martinussen, L. M., Hakamies-Blomqvist, L., Møller, M., Özkan, T., & Lajunen, T. (2013). Age, gender, mileage and the DBQ: The validity of the Driver Behaviour Questionnaire in different driver groups. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 228–236.
- McGwin, G., Chapman, V., & Owsley, C. (2000). Visual risk factors for driving difficulty among older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 32(6), 735–744.
- Metz, D. H. (2000). Mobility of older people and their quality of life. *Transport Policy*, 7(2), 149–152.
- Moták, L., Huet, N., Gabaude, C., & Bougeant, J. C. (2012). Older drivers' self-regulation: Discrepancy reduction or region of proximal learning? *Psychology and Aging*, 27(4), 1164–1171.
- Owsley, C., & Sloane, M. E. (1990). Vision and aging. In R. D. Nebels & S. Corkin (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (Vol. 4, pp. 229–249). New York: Elsevier.
- 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.
- Oxley, J., & Whelan, M. (2008). It cannot be all about safety: The benefits of prolonged mobility. *Traffic Injury Prevention*, 9, 367–378.
- Parker, D., McDonald, L., Rabbitt, P., & Sutcliffe, P. (2000). Elderly drivers and their accidents: The Aging Driver Questionnaire. *Accident Analysis and Prevention*, 32, 751–759.
- Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J., & Campbell, K. L. (1990). Errors and violations on the roads: A real distinction? *Ergonomics*, 33(10/11), 1315–1332.
- Rimmö, P., & Hakamies-Blomqvist, L. (2002). Older drivers' aberrant driving behaviour, impaired activity, and health as reasons for self-imposed driving limitations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(1), 47–62.
- Rogé, J., Pèbayle, T., Campagne, A., & Muzet, A. (2005). Variations of the useful visual field as a function of age and risk of accident in car driving. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 46(5), 1774–1779.
- Sirén, A., Heikkinen, S., & Hakamies-Blomqvist, L. (2001). *Older female road users: A review*. VTI rapport 467A. Linköping: VTI.
- Sirén, A., & Meng, A. (2013). Older drivers' self-assessed driving skills, driving-related stress and self-regulation in traffic. *Transportation Research Part F*, 17, 88–97.
- Sullivan, K. A., Smith, S. S., Horswill, M. S., & Lurie-Beck, J. K. (2011). Older adults' safety perceptions of driving situations: Towards a new driving self-regulation scale. *Accident Analysis and Prevention*, 43, 1003–1009.
- Tokoro, M. (2004). Driving behaviours of elderly drivers in the daily lives. In: *Paper presented at the Third International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Nottingham, UK.



Comparison of driving avoidance and self-regulatory patterns in younger and older drivers



Ladislav Moták^{a,*}, Catherine Gabaude^{b,c}, Jean-Claude Bougeant^d, Nathalie Huet^a

^a Cognition, Langues, Langage, Ergonomie – Laboratoire Travail et Cognition (CLLE-LTC), UMR 5263, CNRS, Université de Toulouse Le Mirail, Toulouse, France

^b Université de Lyon, F-69622 Lyon, France

^c IFSTTAR, LESCOT, F-69675 Bron, France

^d Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC), EA 3082, Université Lumière Lyon 2, Lyon, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 September 2013

Received in revised form 17 April 2014

Accepted 21 June 2014

Keywords:

Avoidance

Self-regulation

Younger

Older drivers

ABSTRACT

This study sought to ascertain whether both the avoidance of difficult driving situations and self-regulation (i.e., avoidance matched to one's cognitive abilities) are typical of older drivers. Older and younger drivers (mean ages 71 and 30 years, respectively) self-rated their avoidance of ten specific driving situations (e.g., driving at night, in fog). Both groups also self-evaluated their physical and mental health, while we administered general (Mini-Mental State Examination) and specific (Digit Symbol Substitution Test) cognitive assessments. The older drivers reported greater avoidance of all ten situations than the younger drivers did, although the effect size remained small. There were also more correlations between self-reported driving avoidance and both health-related perceptions and objective indicators of cognitive function among older drivers, suggesting that self-regulation is a strategy that is typical of this group. Results also showed that, with the exception of the cognitive function indicators, the factors under investigation (i.e., age, driving experience, health-related perceptions) underpinned the self-regulatory patterns in different ways, depending on the drivers' age group. Hypotheses regarding the underlying mechanisms, further factors of interest (including relevant neuropsychological tests), and alternative ways of measuring self-regulation are put forward.

© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Mobility is key to maintaining social activities in later life (Taylor & Tripodes, 2001). Puzzlingly, as those drivers who are most prone to aging-related impairments like to point out, they boast the lowest crash rates (Langford, Bohensky, Koppel, & Newstead, 2008), at least as a population, until their annual mileage becomes extremely low (Langford, Koppel, McCarthy, & Srinivasan, 2008; see also O'Neill, 2012, for discussion). Some age-related visual and cognitive impairments are not only inevitable (e.g., Deary, Johnson, & Starr, 2010), but presumably interfere with abilities that are crucial for driving safety (Anstey, Wood, Lord, & Walker, 2005; DeRaedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2001; McGwin, Owsley, & Ball, 1998; Selander, Lee, Johansson, & Falkmer, 2011). The issue worldwide is therefore how – and how accurately – older drivers adjust their driving to take account of their age-related impairments (Kowalski et al., 2012; Langford & Koppel, 2006).

* Corresponding author. Address: Université de Toulouse Le Mirail, Maison de la Recherche, 5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse CEDEX 9, France. Tel.: +33 669 058 234.

E-mail addresses: ladislav.motak@univ-tlse2.fr (L. Moták), catherine.gabaude@ifsttar.fr (C. Gabaude), jean-claude.bougeant@univ-lyon2.fr (J.-C. Bougeant), huet@univ-tlse2.fr (N. Huet).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2014.06.007>

1369-8478/© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Many studies suggest that older drivers modify their driving according to these impairments, that is, they avoid those driving situations in which their impairments might expose them to an increased risk of accident. Whichever name this strategy goes under – *driving avoidance* (Vance et al., 2006), *self-restriction* (Naumann, Dellinger, & Kresnow, 2011) or, more commonly, *self-regulation* (Baldock, Mathias, McLean, & Berndt, 2006; Blanchard & Myers, 2010; Donorfio, D'Ambrosio, Coughlin, & Mohyde, 2009; Rudman, Friedland, Chipman, & Sciortino, 2006; Sargent-Cox, Windsor, Walker, & Anstey, 2011; Sullivan, Smith, Horswill, & Lurie-Beck, 2011) – older drivers do indeed appear to (i) drive less and less with age (Ball et al., 1998; Donorfio, D'Ambrosio, Coughlin, & Mohyde, 2008), and (ii) drive less at night and in fog as their processing speed decreases (Charlton et al., 2006; Gabaude, Marquié, & Obriot-Claudel, 2010). Arguably, when such adjustments mirror variations in cognitive function, they appear to be strategic, and are mostly intended to prevent accidents (DeRaedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000).

In some cases, self-regulation may also be based on other, rather emotionally loaded, factors such as confidence. For instance, older drivers have been found to avoid those situations in which they feel less confident, such as driving at night or at night in the rain (Baldock et al., 2006; Charlton et al., 2006). However, in contrast to the self-regulation that is based on cognitive function, avoidance associated with lack of confidence is potentially concerning. Drivers who are moderately or not at all confident of being a safe driver have been shown to be up to 1.94 times more likely to be involved in a crash than drivers who are very confident of being safe drivers (Oxley, Charlton, Scully, & Koppel, 2010). Whether or not self-regulation is safety-proficient therefore seems to depend on its underlying causes.

The strategy of self-regulation through avoidance of difficult driving situations has thus far been regarded as a characteristic of aging drivers (Donorfio et al., 2009; Schlag, 1993). Some doubt can, however, be cast on just how typical of older adults this strategy really is. It is argued, for example, in research on metacognition, that older adults' self-regulation and the accuracy of this self-regulation can only be defined when compared with that of younger adults (Hertzog & Hultsch, 2000). On a more macroscopic level, it is argued that self-regulation can only be regarded as accurate if it is age-adjusted, that is, if it takes age-related differences in cognitive abilities into account (Metcalfe, 2002; Metcalfe & Kornell, 2003). Yet, we currently know very little about self-regulation in younger drivers. It has been suggested that they declare driving avoidance (i) less than older drivers do (Naumann et al., 2011), and (ii) more than middle-aged drivers do (Gwyther & Holland, 2012). However, in these studies, driving avoidance reports were not correlated with any assessment (self-declared or otherwise) of cognitive function. Thus, in addition to considering older and younger drivers' driving avoidance (i.e., the amount of self-reported avoidance in different driving situations), our study aimed to investigate *self-regulation* (i.e., the link between the level of self-reported avoidance and several underlying factors) in both age groups.

With this aim in mind, we replicated the widely used self-report paradigm for the avoidance of those driving situations that are deemed to be difficult (Ball et al., 1998; Charlton et al., 2006; Kostyniuk & Molnar, 2008). Of the 24 situations described in the literature (for a review, see Horswill, Anstey, Hatherly, Wood, & Pachana, 2011; Sullivan et al., 2011), we chose to assess self-declared avoidance for 10 situations which, in our opinion, most typified the local (i.e., French) setting and infrastructure. Moreover, in addition to the currently investigated demographic and driving factors deemed to influence driving avoidance (age, sex, driving experience; Gwyther & Holland, 2012; Naumann et al., 2011), we assessed drivers' cognitive function using basic neuropsychological measures (e.g., Anstey et al., 2005), as well as drivers' own perceptions of their mental and physical health (e.g., Eby, Molnar, Shope, & Dellinger, 2007; Rapoport et al., 2013).

Our first prediction was that self-declared avoidance would be greater among the older drivers than among the younger ones (Naumann et al., 2011), but that the extent of this avoidance would differ according to the type of situation (Gabaude et al., 2010). Insofar as older drivers are said to particularly avoid driving in conditions of restricted visibility (i.e., at night or in bad weather; Molnar & Eby, 2008), we expected the older participants to avoid precisely these situations. Moreover, given the considerable heterogeneity in older drivers' self-reported avoidance, principally modulated by cognitive function (Vance et al., 2006), we expected any age-related differences to be weak.

Our second prediction was that self-regulation (i.e., the magnitude of bivariate Pearson's correlations between self-declared avoidance and age, driving experience, cognitive function, mental health and physical health) would also be greater in the older drivers than in the younger ones. This result-interpreted with caution-would confirm that self-regulation through avoidance is typical of older drivers.

2. Method

2.1. Participants

Initially recruited for a driving simulator study partly described elsewhere (a study proposing a new behavioral paradigm for investigating older drivers' self-regulation; Moták, Huet, Gabaude, & Bougeant, 2012), a self-selected, convenience sample of 26 younger (age range 26–35 years) and 91 older adults (age range 65–85) took part in this study (mean age = 30.19 vs. 70.58 years, $SD = 3.24$ vs. 4.54), $t(115) = 42.34$, $p < .001$, $d = 9.42$. All participants, recruited mainly via local newspapers, scored above 24 on the Mini-Mental State Examination (MMSE; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) and stated that they were in excellent or good physical and mental health, and did not take any central nervous system medication. They had been in possession of their driving license for at least 3 years, and drove between 5000 and 25,000 km each year. The sex variable was collapsed in all our analyses, as the male/female ratio did not differ across the two age groups, χ^2

(1, $N = 117$) = 1.50, $p = .22$, and sex had no impact on any of the dependent variables we considered. Participants were treated in accordance with the ethical standards of the American Psychological Association.

2.2. Materials

2.2.1. Self-assessments of physical and mental health

Participants answered the following questions about their physical and mental health: “If you were to assess your physical [mental] health, would you say that it is...?” They were asked to place a cross on a 100-mm visual analog scale, with *excellent* (100) and *very bad* (0) as the endpoints.

2.2.2. Objective assessments of cognitive function

The drivers' cognitive function was assessed by both the MMSE and the Digit Symbol Substitution Test (DSST; Wechsler, 1989), which are extensively used in research concerned with older drivers' safety (Anstey et al., 2005; Molnar et al., 2007). The former is a basic screening measure of cognitive impairment (including subtests of spatiotemporal orientation, memory, mental counting, language, comprehension, visuoconstructive abilities). Each correct response is scored one point (maximum total score: 30 points; cut-off for cognitive impairment: 24). The latter is a recognized measure of processing speed, where the correct responses (i.e., the number of symbols written under the corresponding digits within 90 s) are summed to obtain a total score (see Spreen, Sherman, & Strauss, 2006, for further details).

2.2.3. Self-declared avoidance of difficult driving situations

Participants indicated their degree of avoidance by answering the following question: “How much do you avoid the following situations?” They were then asked to place crosses on ten 100-mm visual analog scales, each relating to a different driving situation. The endpoints of all the scales were *I do not avoid it at all* (0) and *I absolutely avoid it* (100). The ten situations were driving at night, at night in the rain, long distances, in the rain, in fog, during the rush hour, at roundabouts, left turns, in the snow, and on highways. For the statistical purposes detailed below in Sections 3.3 and 3.5, each driver's 10 self-avoidance scores were summed to obtain an overall avoidance score, which was used as an additional indicator. The measure of internal consistency (Cronbach's alpha) suggested that all 10 items were part of the same construct ($\alpha = .88$), and summing them was therefore appropriate.

2.3. Procedure

Participants were asked to fill out a questionnaire related to sociodemographic variables, including age, sex, and average annual mileage. This questionnaire was followed by the self-assessment of physical and mental health. Both the objective assessment of cognitive function and the assessment of driving avoidance took place after the simulator experiment mentioned earlier. Finally, participants were thanked and debriefed.

3. Results

3.1. Section overview and design

After a brief descriptive analysis, we looked at whether self-declared avoidance was greater in the older drivers than in the younger ones, using a two-way analysis of variance (ANOVA), with the self-declared avoidance score as a dependent variable, and age and type of avoided situation as between- and within-participants independent variables. However, given that the groups of younger and older drivers differed not only on age but on other factors, too (driving experience, processing speed and marginally also self-declared mental health; see Table 1), the results were explored further using an analysis of covariance (ANCOVA; Maxwell & Delaney, 2004). For both the ANOVA and the ANCOVA, effect size statistics are reported as partial eta-squared (η^2). The alpha level was set at $\leq .05$ (although even marginal differences, i.e., with $p < .10$, were carefully analyzed).

Table 1
The basic characteristics of the two groups of drivers.

Variables	Younger (n = 26)		Older (n = 91)		t (115)	p	d
	M	SD	M	SD			
Mileage (1000 km/year)	17.79	9.12	12.82	6.44	3.14	<.01	9.42
Physical health	80.81	23.36	80.02	15.81	0.86	ns	
Mental health	88.15	14.18	83.20	14.20	1.77	.08	0.39
MMSE	29.04	1.37	28.81	1.07	1.62	ns	
DSST	59.19	13.87	43.42	9.54	6.66	<.001	1.48

Note. M – Mean; SD – standard deviation; t – t test; p – p value; d – Cohen's d; ns – non significant.

In order to test the degree of self-regulation (i.e., the number and strength of correlations between self-avoidance and other factors) in both younger and older drivers, a series of correlations was performed using Pearson's product-moment coefficient of correlation. Given the unequal sample sizes, Fisher's r -to- z transformations were performed so as to assess differences between correlation coefficients of older vs. younger drivers (Howell, 2010). These results were supplemented by a regression analysis within the sample of older drivers, so as to determine the role of different factors in their self-declared avoidance. No such analysis was performed within the sample of younger drivers, as its limited size would have led to severely flawed estimations (Kline, 2011). All the analyses set out below were performed using IBM SPSS Statistics software, version 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

The raw scores of some variables first had to be transformed, for while we mostly planned to use parametric statistical methods, several variables did not meet the criterion of normal distribution. Positively skewed (i.e., with several extremely high values) variables (e.g., self-declared avoidance) were adjusted using log10 transformation, whereas negatively skewed (i.e., with several extremely low values) variables (e.g., self-assessments of physical and mental health, MMSE) were transformed using the ArcSin procedure. Although the statistical methods were only applied to these transformed scores, for the sake of intelligibility, all the mean and standard deviation values indicated in the tables are based on the raw scores.

3.2. Descriptions

Avoidance of the different driving situations was reported by 23–81% (92% overall) of the younger drivers and 63–93% (99% overall) of the older drivers (Table 2). Although the older drivers' avoidance level was higher than that of the younger drivers (Mann–Whitney $U = 16.00$, $z = -2.57$, $p < .01$), the absolute level of driving avoidance was rather low in both age groups, as the median values for those who indicated at least some degree of avoidance barely exceeded 50 (out of 100 per scale) and mean overall self-declared avoidance was 288.03 ($SD = 155.81$; out of 1000 when the maxima of all 10 scales were summed; see Table 2 for further details).

3.3. Driving avoidance

A 2 (age group) \times 10 (avoided situations) mixed ANOVA yielded a small effect of age, $F(1, 115) = 4.27$, $p = .04$, $\eta^2 = .04$. As expected, older drivers reported greater avoidance of the different situations than the younger drivers did, $M = 28.80$, $SD = 24.70$, and $M = 24.20$, $SD = 25.65$, respectively. Consistent with this, there was also a reliable age-related effect on the overall avoidance score, with the older drivers scoring higher than the younger drivers, $t(115) = 2.12$, $p < .05$, $d = 0.47$ (Table 2).

There was also a strong effect of situation, $F(9, 1035) = 48.13$, $p < .001$, $\eta^2 = .30$, such that the most avoided situations were driving at night in the rain, in fog, during the rush hour, and in the snow, all $ps < .02$. The least avoided situations were driving around roundabouts, making left turns and driving on highways, all $ps < .02$. Contrary to our predictions, however, the interaction term did not reach significance, indicating that the age-related difference in driving avoidance did not vary across the individual driving situations.

Nonetheless, as the older and younger drivers differed not only in their age but also in their driving experience, DSST scores and, marginally, their self-declared mental health, these factors may also have contributed in some manner to the difference we observed in self-declared avoidance. Neither driving experience nor the DSST score was correlated with self-declared avoidance of the driving situations, whether these situations were considered separately or taken together. Self-assessed mental health was, however, correlated with avoidance in five of the 10 driving situations (range $-.35 \geq rs \geq -.20$, all $ps \leq .03$), as well as with the overall self-declared avoidance score, $r(115) = -.20$, $p = .03$. Despite

Table 2
Levels of avoidance (%), median values, mean scores and standard deviations of self-declared avoidance in different driving situations for both groups of drivers (range 0–100).

Situation	Younger				Older			
	% Avoiding	Median	M	SD	% Avoiding	Median	M	SD
Roundabouts	23	11.00	3.96	7.78	63	10.00	7.99	10.17
Left turns	31	20.00	7.35	13.49	70	13.00	14.10	19.73
Highways	35	5.00	8.54	19.01	64	7.50	10.05	16.51
Long distances	50	20.00	17.42	27.72	74	17.00	17.80	19.67
At night	58	30.00	21.15	26.70	81	47.50	33.65	29.75
In the rain	65	25.00	21.38	23.93	80	25.00	23.68	21.93
At night in the rain	73	46.00	34.46	31.44	85	51.00	44.96	34.40
In fog	81	48.00	39.38	32.59	93	54.00	54.27	29.28
In the snow	77	50.50	42.23	37.08	86	48.00	41.89	33.22
During the rush hour	69	79.00	46.08	36.76	87	50.00	39.64	32.31
Overall avoidance score	92	209.00	241.96	178.18	99	264.00	288.03	155.82

Note: M – Mean; SD – standard deviation. % Avoiding and median only refer to drivers who indicated more than 0 on driving avoidance scales while M and SD refer to the whole samples.

Table 3
Correlations between self-declared avoidance and other factors in the group of older drivers (n = 91).

	Experience	Physical health	Mental health	MMSE	DSST	Overall avoidance	At night	At night in the rain	Long distances	In the rain	In fog	During the rush hour	Roundabouts	Left turns	In the snow	Highways
Age	.00	.08	-.04	-.03	-.20	.22*	.20	.20	.28**	.30**	.16	.31**	.18	.15	-.03	.18
Experience		.08	-.12	.07	-.03	-.12	-.10	-.05	-.20	-.06	-.09	.05	-.17	-.21*	-.12	-.12
Physical health			.53**	-.08	-.17	-.13	-.12	-.07	-.20	-.28**	-.17	-.04	-.30**	-.27*	-.29**	.26*
Mental health				.04	.07	-.20*	-.21*	-.22**	-.16	-.42**	-.20	-.20	-.37**	-.27**	-.20	-.47**
MMSE					.37**	-.17	-.21*	-.20	-.03	-.13	-.04	.00	-.09	-.07	-.07	-.13
DSST						-.12	-.06	-.10	-.07	-.11	-.04	-.32**	-.15	-.11	-.07	-.21*
Overall avoidance							.99**	.85**	.48**	.63**	.55**	.15	.38**	.41**	.29**	.41**
At night in the rain								.85**	.50**	.61**	-.50**	-.10	.38**	.38**	.32**	.39**
Long distances									.39**	.68**	.65**	-.12	.33**	.34**	.25*	.34**
In the rain										.49**	.38**	.30**	.57**	.58**	.26*	.50**
During the rush hour											.55**	.43**	.53**	.52**	.43**	.47**
Roundabouts												.18	.27**	.30**	.32**	.27*
Left turns												.37**	.34**	.17	.34**	
In the snow														.76**	.41**	.70**
														.46**	.61**	.32**

* p < .05.

** p < .01.

Table 4
95% confidence intervals (CI) of coefficients of correlation in the group of younger drivers.

Situation	Age			Experience			Physical health			Mental health			MMSE			DSST		
	r	low	up	r	low	up	r	low	up	r	low	up	r	low	up	r	low	up
Driving at night	.28	-.12	.60	.00	-.39	.38	.11	-.29	.48	.05	-.35	.43	.07	-.33	.44	.06	-.34	.43
At night in the rain	-.25	-.58	.15	.21	-.19	.56	-.13	-.50	.27	.06	-.34	.43	.13	-.27	.50	-.01	-.40	.38
Long distances	-.30	-.62	.10	.08	-.32	.45	-.06	-.44	.33	.03	-.36	.41	-.16	-.51	.25	.27	-.13	.60
In the rain	-.40	-.68	-.02	.26	-.15	.59	-.25	-.59	.15	.02	-.37	.41	.15	-.25	.51	-.03	-.41	.36
In fog	-.11	-.48	.30	.10	-.30	.47	-.29	-.61	.12	-.12	-.49	.28	.12	-.29	.48	-.04	-.42	.36
During the rush hour	-.32	-.63	.08	.02	-.37	.41	-.37	-.67	.02	-.09	-.46	.31	-.13	-.50	.26	.07	-.32	.45
Roundabouts	.00	-.39	.39	.20	-.37	.41	-.32	-.63	.08	-.14	-.50	.26	.02	-.38	.40	-.10	-.47	.30
Left-turns	.15	-.25	.55	.12	-.28	.48	-.27	-.60	.12	-.19	-.54	.22	.24	-.16	.58	.11	.30	.47
In the snow	-.20	-.54	.21	.39	.00	.68	-.02	-.40	.37	.03	-.36	.42	.14	-.25	.50	.26	-.15	.59
Highways	-.29	-.61	.11	-.14	-.50	.26	-.29	-.61	.11	-.09	-.46	.31	.21	-.19	.55	.03	-.37	.41

Note: MMSE – mini mental state examination; DSST – digit-symbol substitution test; r – Pearson's correlation coefficient; low – lower boundary of the 95% CI; up – upper boundary of the 95% CI.

NB: correlation coefficients are significant above $r = .39$. Even though non significant correlations in the group of younger drivers might be due to the smaller number of participants, it is noteworthy that the possible significant correlations between different driving situations and (for example) age and experience appear to contrast with (i.e., go in the opposite way to) the correlations observed in the sample of older drivers.

the weakness of this correlation, a 2 (age) \times 10 (avoided situation) ANCOVA with self-declared mental health as a covariate yielded a medium effect of mental health, $F(1, 114) = 12.04$, $p = .001$, $\eta^2 = .10$, but no effect of age, $p = .12$. Albeit weaker than in the previous analysis, there was also an effect of situation, $F(9, 1026) = 3.63$, $p < .001$, $\eta^2 = .03$, but no interaction effect.

3.4. Self-regulation

In line with the assumption that self-regulation through avoidance is typical of older drivers, there were 19 significant correlations between self-declared avoidance and other factors in the older drivers (Table 3)¹ and only two significant correlations in the younger drivers. Concerning the older drivers, self-declared avoidance was correlated with all the predictors, that is, with age, experience (i.e., mileage), mental health, physical health, MMSE and DSST. More specifically, the older the drivers were, the more they avoided driving long distances, in the rain and during the rush hour, $r_s(89)$ ranging from .28 to .31, all $ps \leq .01$. Interestingly, the more experienced the drivers were, the less they reported avoiding left turns, $r(89) = -.21$, $p < .05$. In respect to physical health, the latter was positively correlated with avoidance of driving on highways, $r(89) = .26$, $p = .01$, possibly indicating that better physical health allows older drivers to engage in driving settings that are less safe than highways. However, as their physical health declined, they increasingly avoided driving in the rain, in the snow, and around roundabouts, and taking left turns, $r_s(89)$ ranging from $-.27$ to $-.30$, all $ps \leq .01$. Mental health was also negatively correlated with the avoidance of some driving situations, namely driving at night, at night in the rain, in the rain, and around roundabouts, taking left turns and driving on highways, $r_s(89)$ ranging from $-.21$ to $-.47$, all $ps \leq .05$. Finally, some links were observed with the objective assessments of cognitive functioning: the MMSE score was correlated with driving at night, $r(89) = -.21$, $p = .04$, and the DSST with driving in the rush hour and on highways, both $r_s(88) = -.32$ and $-.21$, $ps < .01$ and $=.05$, respectively.² The younger drivers reported greater avoidance of driving in the rain as their age increased, $r(24) = .40$, $p = .04$, and more avoidance of driving in the snow as their experience increased, $r(24) = .39$, $p = .05$.

As indicated by Fisher's r -to- z transformations, the older drivers reliably differed from the younger drivers on several driving situations. For instance, six of the ten situations (driving at night, at night in the rain, long distances, in the rain, during the rush hour and on highways) were correlated more positively with age in the older drivers than in the younger drivers, pointing to contrasting patterns of self-regulation for the two age groups. In the main, the older the drivers in the over-65 group, the more they reported avoiding these specific situations. However, the older the drivers in the under-35 group, the less they reported avoiding these situations, all $zs < -1.99$, all $ps < .05$. We found the same pattern regarding the link between physical health and driving on highways, $z = -2.10$, $p < .05$.

The opposite pattern was observed for mental health. The poorer the drivers' mental health beyond the age of 65, the more they reported avoiding driving in the rain and on highways. However, the better the drivers' mental health below the age of 35 years, the more they reported avoiding driving in these situations, all $zs > 2.02$, all $ps < .05$. We found the same pattern regarding the link between driving experience and driving in the snow, $z = 2.39$, $p < .05$. No reliable age-related differences were observed regarding the correlations with cognitive function (MMSE or DSST).

¹ Given that there were nearly four times fewer younger drivers than older ones, Table 4 sets out the correlation coefficients for the younger drivers together with their 95% confidence intervals, so as to indicate the range of possible values had the younger driver group been larger.

² There were only 88 degrees of freedom for the correlation with the DSST, as the data for one participant were missing.

3.5. Regression analysis

A regression analysis was performed, taking the overall avoidance score as a dependent variable, and the following factors as predictors: age, driving experience, self-declared physical and mental health, and MMSE and DSST scores. Taken together, these factors explained 17% of self-declared avoidance, adjusted $R^2 = .17$, $F(6,83) = 4.00$, $p < .001$. Of the six factors we considered, only two significantly contributed to the overall avoidance score, namely age, $\beta = .33$, $p = .001$, and self-declared mental health, $\beta = -.24$, $p < .05$. The older drivers therefore tended to avoid difficult situations more as a function of both their age (the older the driver, the greater the avoidance) and their mental health (the subjectively healthier the driver, the lesser the avoidance). A step-by-step regression analysis revealed that age explained 10% of the observed avoidance-related variance, $F(1,89) = 10.91$, $p = .001$, and self-declared mental health 7% of this variance, $F(1,89) = 7.92$, $p < .01$. Adding the Age \times Mental health interaction to the equation did not enhance the overall explained variance, $R^2 = .17$, $F(7,82) = 3.56$, $p < .01$, but left only mental health as a marginally reliable predictor, $\beta = -.61$, $p = .07$.

4. Discussion

Our first prediction was that self-declared avoidance would be greater among the older drivers than among the younger drivers, but that the extent of this avoidance would differ according to the type of situation. This prediction was only partly confirmed, as there was no Age \times Avoided situation interaction. As in previous studies, although levels of older drivers' avoidance remained rather low (see also Baldock et al., 2006), a greater proportion of the older drivers reported avoiding driving situations, and overall, mean avoidance was greater among the older drivers than among the younger ones (Naumann et al., 2011). The mean differences were further comparable to the data reported by Gwyther and Holland (2012), and so, too, was the level of the drivers' avoidance, given that our "younger" drivers actually matched the "middle-aged" drivers studied by these authors and our sample consisted mainly of women. For instance, 62% of their middle-aged female drivers (vs. 65% in our study) reported avoiding driving in bad weather (rain), compared with 70% of older female drivers (vs. 80% in our study). Even the median values of those who indicated at least some level of avoidance in our study were similar to those reported by Gwyther and Holland (2012).

It is noteworthy, however, that the mean overall difference in the younger vs. older drivers' avoidance remained small ($M_s = 24.20$ vs. 28.80 out of 100) and that there was considerable interindividual variability ($SD_s = 24.70$ vs. 25.65). This variability might explain why the expected Age \times Avoided situation interaction was lacking. The self-declared avoidance of older drivers was actually greater than that of younger drivers in those situations where it was supposed to be (e.g., driving at night, $M_s = 33.65$ vs. 21.15, or at night in the rain, $M_s = 44.96$ vs. 34.46), but much the same in other situations (e.g., on highways, $M_s = 10.05$ vs. 8.54, or over long distances, $M_s = 17.80$ vs. 17.42). Such a result indicates an interaction at least descriptively and the associated moderate effect size ($\eta^2 = .11$) provides further support for our hypothesis that the high level of heterogeneity would be a plausible explanation for the lacking statistical significance.

When we looked for other factors responsible for differences in driving avoidance observed between younger vs. older drivers, self-reported mental health appeared to be just as important a factor as age. This is in line with findings indicating that it is not age per se, but rather a discomfort felt by drivers during driving, that leads to driving avoidance (Siren & Meng, 2013). Rather than providing an accurate description of an individual's cognitive abilities, such as processing speed or attentional resources, mental health self-assessments may refer to a host of aging- and distress-related concepts, be they emotionally (e.g., depression, anxiety and irritability) or cognitively loaded (e.g., self-deprecation and its negative impact on one's social involvement; Massé et al., 1998; see Sabbagh, Thomas Antérion, Girtanner, Vincent Grangette, et al., 2000, and Stephan, Demulier, & Terracciano, 2012, for further discussion). The fact remains that age, together with mental health, only explained 17% of driving avoidance, supporting existing evidence that other factors should be taken into account (e.g., attitudes; Gwyther & Holland, 2012). In this vein, although gender did not appear to have a significant effect in our study, larger samples including more men and thus permitting a thorough gender-related comparison remain warranted as women (i) report more reasons to limit or avoid driving (Ragland, Satariano, & MacLeod, 2004), and (ii) are more likely to completely avoid or at least to modify their driving than men (Kostyniuk & Molnar, 2008).

Our second prediction was that the self-regulation (i.e., the magnitude of correlations between avoidance and the underlying factors) would be greater in the older drivers than in the younger ones. Unlike the avoidance of the younger drivers, and in line with previous findings, the older drivers' avoidance appeared to be linked to several factors, including their age (Ball et al., 1998), driving experience (Hakamies-Blomqvist & Wahlström, 1998), perceptions of physical and mental health (Kostyniuk & Molnar, 2008; Rapoport et al., 2013), and objectively assessed cognitive function (McGwin, Chapman, & Owsley, 2000), in particular processing speed (Gabaude et al., 2010).

Importantly for this issue, and for the question about how far older drivers respond to their actual cognitive abilities, it would be worthwhile using other neuropsychological tests, besides those used in our study. Researchers have recently suggested that both the Clock Drawing Test (Wong, Smith, & Sullivan, 2012) and the Trail Making Test (TMT; Emerson et al., 2012) might be effective indicators of older drivers' self-regulation. In line with these findings, Rapoport et al. (2013) observed that TMT Part B error scores were significantly associated with self-reported driving avoidance, even after controlling for self-reported depressive symptoms. This result suggests that older drivers are capable of engaging in self-regulation on the basis of variations in cognitive function, thus keeping their self-regulation safety-proficient.

This ability may not have been fully brought to light in our study. Although extensively used thus far (DeRaedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2001; Molnar et al., 2007), the MMSE remains a basic dementia-screening measure with only limited validity for measuring cognitive and driving abilities (Crizzle, Classen, Bédard, Lanford, & Winter, 2012). Moreover, in nondemented individuals, its data may often be biased, owing to a ceiling effect, and this may well have been the case in our study (see also Ferreira, Simoes, & Marôco, 2012). The lower sensitivity of this neuropsychological test could also explain the lack of differences in self-regulation patterns across the two age groups of drivers regarding the MMSE. That being said, it remains that our study revealed associations between driving avoidance and DSST in older drivers, thus further confirming their ability to reflect on their cognitive function and its variations (e.g., the drivers with lower DSST scores were also those with greater avoidance of driving in the rush hour).

Nevertheless, a degree of caution is needed for while cognitive function-based self-regulation is indicative of drivers' responses to their varying levels of available resources (leading, *in fine*, to safer driving; DeRaedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2000), self-regulation based on drivers' perceptions of their mental health is not. It has already been suggested that subjectively perceived variables may represent an underlying factor of older drivers' avoidance in potentially difficult driving situations (e.g., the more depressive drivers are, the greater their driving avoidance; Rapoport et al., 2013; see Baldock et al., 2006, and Charlton et al., 2006, for similar, confidence-related findings). However, evidence suggests that such self-perceptions may be dangerous, as they result in overly cautious driving styles that can generate an increased risk of traffic accident (Oxley et al., 2010). In light of our findings—whereby self-regulation of older drivers appears to be based on both, their cognitive function and their perceptions of mental health—, it seems crucial that future research concentrates on evaluating outcomes of such self-regulation where its different sources may interact.

Another important finding of our study is that not only were there many more correlations that were reliably different from zero in the older drivers, but the patterns of self-regulation also appeared to be age-specific, that is, they indicated that the same factors (i.e., age, driving experience, perceptions of physical and mental health) might be linked to drivers' avoidance in contrasting ways, depending on their age group. For instance, the more experienced the drivers in the over-65 group, the more they reported avoiding driving in the snow. However, the more experienced the drivers in the under-35 group, the less they reported avoiding this situation. The question then arises of why this switch happens.

One explanation for differing self-regulation patterns between both age groups may stem from age-related differences in risk appraisal. For example, it has been argued that younger drivers are less aware of snow-related risks – and may therefore be keen to drive in snow as their driving experience increases (e.g., Katila, Keskinen, Hatakka, & Laapotti, 2004; see also De Craen, Twisk, Hagenzieker, Elffers, & Brookhuis, 2011, for younger drivers' estimation of their skills)—, whereas older drivers are assumed to be more concerned with such risks—and may therefore try to avoid it as their driving experience increases (e.g., Schlag 1993; although see Horswill, Sullivan, Lurie-Beck, & Smith, 2013, concerned with older drivers' ability to exactly estimate their road hazards detection). Another explanation could rely on pertinence and/or degree of salience of some factors. For instance, perceptions of mental health might be more preoccupying—and, presumably, with different contents—for older rather than younger drivers, thus leading to different patterns of self-regulation.³ Similarly, worrying about the eyesight problems that are often associated with aging may lead older drivers to avoid driving at night or at night in the rain (Ball et al., 1998; McGwin et al., 2000), whereas these problems are less salient in younger drivers. Given its pertinence for older drivers (e.g., Eby et al., 2007; Edwards et al., 2008), investigating eyesight-related self-regulation in greater detail would be an interesting future research avenue. Anyhow, whichever be the explanation, our results indicate that some kind of switch likely occurs in drivers' self-regulation as they grow older.

This conclusion nonetheless needs to be viewed with caution. To quote for example Sullivan et al. (2011, p. 1004), “(...) avoiding specific driving situations is a key component of driving self-regulation (...)”. What we can be sure of is that avoidance of difficult driving situations is *one* of its possible operationalizations. However, although widespread (e.g., Charlton et al., 2006; Wong et al., 2012), this operationalization has its limits.

For a start, older drivers may engage in behaviors that seem to be indicative of self-regulation but are not. For instance, older drivers have been shown to avoid driving in some situations because of (i) their reduced travel needs (Hakamies-Blomqvist & Wahlström, 1998; also Oxley et al., 2010), (ii) the availability of partners as drivers (Hakamies-Blomqvist & Wahlström, 1998), (iii) the availability of public transportation systems (Raitanen, Törmäkangas, Mollenkopf, & Marcellini, 2003), and also (iv) more free time, allowing them to plan their trips at other times of the day, instead of during the rush hour or at night (Sullivan et al., 2011). Altogether, evidence suggests that if older drivers avoid difficult driving situations, they may do so for a host of reasons besides their awareness of aging-related decline (see Molnar et al., 2013).

Second, while avoidance-related self-reports have been put forward as a useful proxy for drivers' self-regulation, there are several methodological and empirical concerns. For example, drivers' avoidance-related self-reports have been found to be reliably biased (e.g., overestimated as compared with onboard data recordings; Blanchard, Myers, & Porter, 2010) or misleading in estimating the effects of rehabilitation programs (increased self-reported avoidance vs. increased post-test crash ratio; Owsley et al., 2003, 2004). Furthermore, the positive link found between self-reported driving avoidance and drivers' cognitive abilities (e.g., Ball et al., 1998) has not always been replicated (DeRaedt & Ponjaert-Kristoffersen, 2001). Therefore, unless older drivers' ratings of their driving abilities are unreliable—which seems compromised by the existent evidence (e.g.,

³ As suggested by one of the reviewers, the very likely differences in the way older (vs. younger) drivers define for themselves—and attribute an importance to – “mental health” might raise some methodological concerns, mainly pertaining to the validity of this concept. Future research should clarify this issue and a more detailed and/or concretely focused ways of analyzing drivers' perceptions of their own mental health are to be recommended.

Holland 1993; although see also Horswill et al., 2013), the operationalization of self-regulation via avoidance-related self-reports proves to have its limits.

In this respect, other types of operationalization, involving an observable behavior instead of self-reported data (e.g., Baldock et al., 2006), might prove useful in investigating older drivers' self-regulation. For example, older drivers appear to (i) overtake less than their younger counterparts when driving on a multilane highway (Reimer et al., 2013), (ii) avoid difficult driving situations more than their younger counterparts in simulated driving (Moták et al., 2012), and also (iii) postpone distracting activities when approaching left/right turns (Charlton, Catchlove, Scully, Koppel, & Newstead, 2013). All of these operationalizations shed light on older drivers' self-regulatory abilities and avoid the problems linked to self-reports. It is worth noting, however, that if self-reports are so widely used (e.g., Ball et al., 1998; Kostyniuk & Molnar, 2008; Meng & Siren, 2012; Owsley et al., 2003), it is because they are extremely valuable for gathering large-scale data that would otherwise be impossible to obtain.

Despite these limitations, our study is the first to make the unique and worthy contribution of investigating not only older and younger drivers' driving avoidance (i.e., the amount of self-reported avoidance in different driving situations) but also their self-regulation (i.e., the correlation between the amount of self-reported avoidance and the drivers' age, driving experience, perceptions of mental and physical health, and objectively assessed cognitive function) in both age groups. Although the factors we investigated were far from exhaustive, evidence suggests that several of them (age, driving experience and health-related perceptions) underpin the self-regulatory patterns in more or less different ways, depending on the drivers' age group. While caution must be exercised when considering self-reported data, the findings highlighted in our study pave the way to understanding how drivers' self-regulation changes across the lifespan. Further research is needed to encompass a greater number of potentially influential factors, with an emphasis on underlying age-related processes.

Acknowledgments

The authors wish to thank Elizabeth Portier for her precious language contribution, as well as Soizick de Bagneaux and Delphine Mallet for their help in recruiting the participants.

References

- Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S., & Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling safety in older adults. *Clinical Psychology Review*, 25, 46–65.
- 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 and Prevention*, 38, 1038–1045.
- Ball, K., Owsley, C., Stalvey, B., Roenker, D. L., Sloane, M. E., & Graves, M. (1998). Driving avoidance and functional impairment in older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 313–322.
- 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, 1213–1219.
- Blanchard, R. A., Myers, A. M., & Porter, M. M. (2010). Correspondence between self-reported and objective measures of driving exposure and patterns in older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 523–529.
- Charlton, J. L., Catchlove, M., Scully, M., Koppel, S., & Newstead, S. (2013). Older driver distraction: A naturalistic study of behavior at intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 58, 271–278.
- Charlton, J. L., Oxley, J., Fildes, B., Oxley, P., Newstead, S., Koppel, S., et al (2006). Characteristics of older drivers who adopt self-regulatory driving behaviours. *Transportation Research Part F*, 9, 363–373.
- Crizzle, A. M., Classen, S., Bédard, M., Lanford, D., & Winter, S. (2012). MMSE as a predictor of on-road driving performance in community dwelling older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 49, 287–292.
- 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 and Prevention*, 43, 1660–1665.
- Deary, I. J., Johnson, W., & Starr, J. M. (2010). Are processing speed tasks biomarkers of cognitive aging? *Psychology and Aging*, 25, 219–228.
- DeRaedt, R., & Ponjaert-Kristoffersen, I. (2000). Can strategic and tactical compensation reduce crash risk in older drivers? *Age and Aging*, 29, 517–521.
- DeRaedt, R., & Ponjaert-Kristoffersen, I. (2001). Predicting at-fault car accidents of older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 33, 809–819.
- 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, 555–561.
- 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, 221–226.
- Eby, D. W., Molnar, L. J., Shope, J. T., & Dellinger, A. M. (2007). Development and pilot testing of an assessment battery for older drivers. *Journal of Safety Research*, 38, 535–543.
- Edwards, J. D. et al (2008). Acceptability and validity of older driver screening with the driving health inventory. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1157–1163.
- Emerson, J. L. et al (2012). Predictors of driving outcomes in advancing age. *Psychology and Aging*, 27, 550–559.
- Ferreira, I. S., Simoes, M. R., & Marôco, J. (2012). The Addenbrooke's cognitive examination revised as a potential screening test for elderly drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 49, 278–286.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). 'Mini-mental state'. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12, 189–198.
- Gabaude, C., Marquié, J.-C., & Obriot-Claudel, F. (2010). Self-regulatory driving behaviour in the elderly: Relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Le Travail Humain*, 73, 31–52.
- Gwyther, H., & Holland, C. (2012). The effect of age, gender and attitudes on self-regulation in driving. *Accident Analysis and Prevention*, 45, 19–28.
- Hakamies-Blomqvist, L., & Wahlström, B. (1998). Why do older drivers give up driving? *Accident Analysis and Prevention*, 38, 305–312.
- Hertzog, C., & Hultsch, D. F. (2000). Metacognition in adulthood and old age. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 417–466). Mahwah, NJ: Erlbaum. 2nd ed.
- Holland, C. A. (1993). Self-bias in older drivers' judgment of accident likelihood. *Accident Analysis and Prevention*, 25, 431–441.
- Horswill, M. S., Anstey, K. J., Hatherly, C., Wood, J. M., & Pachana, N. A. (2011). Older drivers' insight into their hazard perception ability. *Accident Analysis and Prevention*, 43, 2121–2127.

- 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.
- Howell, D. C. (2010). *Statistical methods for psychology* (7th ed.). Belmont, CA: Wadsworth.
- Katila, A., Keskinen, E., Hatakka, M., & Laapotti, S. (2004). Does increased confidence among novice drivers imply a decrease in safety? The effects of skid training on slippery road accidents. *Accident Analysis and Prevention*, *36*, 543–550.
- Kline, R. B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: The Guilford Press.
- Kostyniuk, L. P., & Molnar, L. J. (2008). Self-regulatory driving practices among older adults: Health, age and sex effects. *Accident Analysis and Prevention*, *40*, 1576–1580.
- Kowalski, K., Love, J., Tuokko, H., MacDonald, S., Hultsch, D., & Strauss, E. (2012). The influence of cognitive impairment with no dementia on driving restriction and cessation in older adults. *Accident Analysis and Prevention*, *49*, 308–315.
- Langford, J., Bohensky, M., Koppel, S., & Newstead, S. (2008). Do age-based mandatory assessments reduce older drivers' risk to other road users? *Accident Analysis and Prevention*, *40*, 1913–1918.
- Langford, J., & Koppel, S. (2006). Epidemiology of older driver crashes – identifying older driver risk factors and exposure patterns. *Transportation Research Part F*, *9*, 309–321.
- Langford, J., Koppel, S., McCarthy, D., & Srinivasan, S. (2008). In defence of the 'low-mileage bias'. *Accident Analysis and Prevention*, *40*, 1996–1999.
- Massé, R., Poulin, C., Dassa, C., Lambert, J., Bélair, S., & Battaglioli, A. (1998). Elaboration et validation d'un outil de mesure de la détresse psychologique dans une population non clinique de Québécois francophones. *Canadian Journal of Public Health*, *89*, 183–187.
- Maxwell, S. E., & Delaney, H. D. (2004). *Designing experiments and analyzing data. A model comparison perspective*. Mahwah, NJ: LEA.
- McGwin, G., Chapman, V., & Owsley, C. (2000). Visual risk factors for driving difficulty among older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, *32*, 735–744.
- McGwin, G., Owsley, C., & Ball, K. (1998). Identifying crash involvement among older drivers: Agreement between self-report and state records. *Accident Analysis and Prevention*, *30*, 781–791.
- 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*, 322–329.
- Metcalfe, J. (2002). Is study time allocated selectively to a region of proximal learning? *Journal of Experimental Psychology: General*, *131*, 349–363.
- Metcalfe, J., & Kornell, N. (2003). The dynamics of learning and allocation of study time to a region of proximal learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*, 530–542.
- Molnar, L. J. et al (2007). Acceptability and concurrent validity of measures to predict older driver involvement in motor vehicle crashes: An emergency department pilot case-control study. *Accident Analysis and Prevention*, *39*, 1056–1063.
- Molnar, L. J. et al (2013). Driving avoidance by older adults: Is it always self-regulation? *Accident Analysis and Prevention*, *57*, 96–104.
- Molnar, L. J., & Eby, D. W. (2008). The relationship between self-regulation and driving-related abilities in older drivers: An exploratory study. *Traffic Injury Prevention*, *9*, 314–319.
- Moták, L., Huet, N., Gabaude, C., & Bougeant, J.-C. (2012). Older drivers' self-regulation: Discrepancy reduction or region of proximal learning? *Psychology and Aging*, *27*, 1164–1171.
- Naumann, K. B., Dellinger, A. M., & Kresnow, M.-J. (2011). Driving self-restriction in high-risk conditions: How do older drivers compare to others? *Journal of Safety Research*, *42*, 67–71.
- O'Neill, D. O. (2012). More mad and more wise. *Accident Analysis and Prevention*, *49*, 263–265.
- Owsley, C., McGwin, G., Phillips, J. M., McNeal, M. P. H., & 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*, 222–229.
- 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*, 393–400.
- Oxley, J., Charlton, J., Scully, J., & Koppel, S. (2010). Older female drivers: An emerging transport safety and mobility issue in Australia. *Accident Analysis and Prevention*, *42*, 515–522.
- Ragland, D. R., Satariano, W. A., & MacLeod, K. E. (2004). Reasons given by older people for limitation or avoidance of driving. *The Gerontologist*, *44*, 237–244.
- Raitanen, T., Törmäkangas, T., Mollenkopf, H., & Marcellini, F. (2003). Why do older drivers reduce driving? Findings from three European countries. *Transportation Research Part F*, *6*, 81–95.
- Rapoport, M. J. et al (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.
- Reimer, B. et al (2013). Impact of age and cognitive demand on lane choice and changing under actual highway conditions. *Accident Analysis and Prevention*, *52*, 125–132.
- 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*, *25*, 65–76.
- Sabbagh, N., Thomas Antérion, C., Girtanner, C., Cadet, L., Vincent Granelle, F., et al (2000). Visual analog scale for autoevaluation in elderly patients presenting either pain or early dementia. *Revue de Médecine Interne*, *21*, 416–420.
- Sargent-Cox, K. A., Windsor, T., Walker, J., & Anstey, K. J. (2011). Health literacy of older drivers and the importance of health experience for self-regulation of driving behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, *43*, 898–905.
- Schlag, B. (1993). Elderly drivers in Germany – fitness and driving behavior. *Accident Analysis and Prevention*, *25*, 47–55.
- Selander, H., Lee, H. C., Johansson, K., & Falkmer, T. (2011). Older drivers: On-road and off-road test results. *Accident Analysis and Prevention*, *43*, 1348–1354.
- Siren, A., & Meng, A. (2013). Older drivers' self-assessed driving skills, driving-related stress and self-regulation in traffic. *Transportation Research Part F*, *17*, 88–97.
- Spreen, O., Sherman, E., & Strauss, E. (2006). *A compendium of neuropsychological tests* (3rd ed.). New York, NY: Oxford University Press.
- Stephan, Y., Demulier, V., & Terracciano, A. (2012). *Personality, self-rated health, and subjective age in a life-span sample: The moderating role of chronological age*. *Psychology and Aging*. Advance online publication. doi:10.1037/a0028301.
- Sullivan, K. A., Smith, S. S., Horswill, M. S., & Lurie-Beck, J. K. (2011). Older adults' safety perceptions of driving situations: Towards a new driving self-regulation scale. *Accident Analysis and Prevention*, *43*, 1003–1009.
- Taylor, B. D., & Tripodes, S. (2001). The effects of driving cessation on the elderly with dementia and their caregivers. *Accident Analysis and Prevention*, *33*, 519–528.
- Vance, D. E., Roenker, D. L., Cissell, G. M., Edwards, J. D., Wadley, V. G., & Ball, K. K. (2006). Predictors of driving exposure and avoidance in a field study of older drivers from the state of Maryland. *Accident Analysis and Prevention*, *38*, 823–831.
- Wechsler, D. (1989). *Echelle d'intelligence de Wechsler pour Adultes, Forme Révisée [WAIS-R]*. Paris: Centre de Psychologie Appliquée.
- 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.

Psychology and Aging

Older Drivers' Self-Regulation: Discrepancy Reduction or Region of Proximal Learning?

Ladislav Moták, Nathalie Huet, Catherine Gabaude, and Jean-Claude Bougeant

Online First Publication, June 18, 2012. doi: 10.1037/a0028650

CITATION

Moták, L., Huet, N., Gabaude, C., & Bougeant, J.-C. (2012, June 18). Older Drivers' Self-Regulation: Discrepancy Reduction or Region of Proximal Learning?. *Psychology and Aging*. Advance online publication. doi: 10.1037/a0028650

Older Drivers' Self-Regulation: Discrepancy Reduction or Region of Proximal Learning?

Ladislav Moták

Université de Lyon and IFSTTAR–LESCOT, Bron, France

Nathalie Huet

Université de Toulouse-Le-Mirail

Catherine Gabaude

Université de Lyon and IFSTTAR–LESCOT, Bron, France

Jean-Claude Bougeant

Université de Lyon-Lumière

We examined older adults' self-regulation within the region of proximal learning (RPL) framework. Younger and older drivers completed four circuits of increasing difficulty in a driving simulator and were then given a limited amount of time to train for a test. Although older drivers chose to train on easier circuits than younger ones, both age groups focused on the easier circuits first, only moving to the more difficult ones later. They were thus equally able to identify their RPL. This framework appears to apply beyond the obvious scope of metamemory and provides a behavioral assessment of self-regulation in driving settings.

Keywords: aging, self-regulation, region of proximal learning, discrepancy reduction, driving

To what extent can a decline in metacognition be held responsible for older adults' deteriorating cognitive performance (Light, 1991)? Recent studies suggest that monitoring processes are spared by aging (Dunlosky, Baker, Rawson, & Hertzog, 2006). However, there is some evidence to suggest that older adults do not spontaneously draw on their monitoring skills to accurately self-regulate their learning (Hines, Touron, & Hertzog, 2009).

We argue in this article that evidence for older adults' impaired self-regulation is limited by the fact that it is based solely on the criteria set out in the discrepancy reduction (DR) model of self-regulated learning (Dunlosky & Hertzog, 1998b). Thus far, any

age-related differences have been regarded as merely indicating impairment of older adults' self-regulation because only younger adults' self-regulation matches the predictions of the DR model (Hertzog & Hultsch, 2000). We believe that in addition to accounting for age- and experience-related differences in the self-regulatory patterns of children and younger adults, the region of proximal learning (RPL; Metcalfe, 2002) framework can also help us to interpret differences in self-regulation between younger and older adults.

Although many studies have explored the self-regulation of older drivers (e.g., Baldock, Mathias, McLean, & Berndt, 2006; Owsley, Stalvey, & Phillips, 2003), none have referred to the above-mentioned models of self-regulated learning and vice versa. We argue that the application of self-regulated learning models to driving settings makes it possible to extend the scope of these models beyond metamemory and to undertake behavioral assessments of older drivers' self-regulation. We begin with a brief overview of the main findings on older adults' self-regulated learning and on self-regulation in older drivers.

The DR model's main assumption is that people initially choose to study the most difficult items available. Researchers have found that harder items are preferentially studied rather than easier ones in at least 35 of 46 different experimental conditions (Son & Metcalfe, 2000). Self-regulating one's learning in this way presumably reduces the gap between the perceived and desired levels of learning, or "norm of study" (Nelson, 1996).

The principal idea of the RPL framework is that "there is a region of materials or concepts just beyond the grasp of the learner that is most amenable to learning" (Metcalfe, 2002, p. 350), with this RPL being affected by such variables as the individual's experience, item difficulty, total study time available, and so on. Metcalfe found that study-time allocation shifted from easier to harder items as the participants' expertise shifted from novice to expert (Metcalfe, 2002) and as the amount of time available

Ladislav Moták and Catherine Gabaude, The French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR), Laboratory Ergonomics and Cognitive Sciences Applied to Transport (LESCOT), Bron, France, and Université de Lyon, Lyon, France; Nathalie Huet, Unité Mixte de Recherche 5263 - CLLE-LTC, CNRS, Université Toulouse-Le-Mirail, Maison de la Recherche, Toulouse, France; Jean-Claude Bougeant, Laboratoire Etude des Mécanismes Cognitifs, Université Lumière Lyon 2, Lyon, France.

This research was supported by the "Territoires, Transports, et Société" research cluster of the Rhône-Alpes region, France, and by the Psycho Ergo research group (GDR CNRS 3169), France. The authors thank Max Duraz and Daniel Ndiaye for their help in developing the driving scenarios, Elizabeth Portier for her precious language contribution, and two anonymous reviewers for their constructive comments on earlier drafts of this paper. This article forms part of Ladislav Moták's doctoral dissertation. Some of the data presented here were presented in May 2010 at the meeting of the European Association for Research in Learning and Instruction (EARLI), Special Interest Group 16 Metacognition, in Münster, Germany.

Correspondence concerning this article should be addressed to Ladislav Moták, Université Toulouse Le Mirail, Maison de la Recherche, 5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse, France. E-mail: ladislav.motak@univ-tlse2.fr

increased (Metcalfe & Kornell, 2005; see also Thiede & Dunlosky, 1999).

The DR and RPL models can account for the same pattern of self-regulation, although for different reasons. The former predicts that time will be allocated to the most difficult items in every case (Thiede, 1999). However, according to the latter, this pattern is only observed in two very specific cases: if the self-regulating individuals are experts (Metcalfe & Kornell, 2003) and if there is enough time to allow the less-expert individuals to master the easier as-yet-unlearned items and then to move on to the more difficult-to-learn ones (Metcalfe, 2002). The RPL framework thus appears to be more comprehensive because individual and task-related aspects of self-regulation are taken into account.

It is in terms of the DR model that older adults' self-regulation has been deemed to be impaired. Older adults have been reported not only to allocate more of their study time to easier items (Dunlosky & Connor, 1997) but (also) to allocate less time to restudy than younger adults (Murphy, Schmitt, Caruso, & Sanders, 1987). However, we have yet to ascertain the origin and meaning of these age-related differences in self-regulation.

For a start, monitoring is not adversely affected by aging and therefore cannot account for age-related differences in self-regulation. Gamma correlations between subjective assessments of memory (judgments of learning, JOLs; Nelson & Narens, 1990) and subsequent recall performances are almost as high for older adults as they are for younger ones (Connor, Dunlosky, & Hertzog, 1997). Moreover, older adults have been found to be just as capable of basing their JOLs on multiple cues as younger adults (Robinson, Hertzog, & Dunlosky, 2006).

Furthermore, older adults supposedly have difficulty producing efficient strategies (Dunlosky, Kubat-Silman, & Hertzog, 2003). However, the age-related differences in self-regulation do not necessarily result from differences in strategy production: Older adults successfully comply with instructions to use monitoring when asked to do so (Dunlosky & Hertzog, 1998a) and may spontaneously undertake self-testing (Dunlosky et al., 2007).

One possible explanation for age-related differences may be that older adults simply adjust the way they self-regulate to match their current cognitive abilities (Dunlosky & Connor, 1997). It has been suggested that older adults' self-regulation consists of a shift in cognitive processing, with increased reliance on the cognitive resources that are preserved by aging (e.g., attention to discourse context) and less on those that are likely to decline (e.g., working memory; Stine-Morrow, Miller, Gagne, & Hertzog, 2008). However conscious or unconscious this shift may be, Stine-Morrow and associates' study showed that an individual's self-regulation can only be regarded as accurate when it reflects his or her own cognitive abilities. We therefore argue that older adults' self-regulation may appear accurate on the basis of RPL criteria because the RPL framework accounts better for individual and task-related differences than the DR model does.

Independently of the research on metacognition, there has been considerable interest in older drivers' self-regulation (e.g., Lyman, McGwin, & Sims, 2001; Rudman, Friedland, Chipman, & Sciortino, 2006; Schlag, 1993). Older drivers are assumed to self-regulate their driving with respect to their age and their cognitive abilities insofar as (a) they drive less and less with age (Ball et al., 1998); (b) those drivers who declare themselves to be less mentally fit also indicate that they drive less often under

adverse weather conditions (Kostyniuk & Molnar, 2008); (c) the avoidance of night driving is significantly related to overall health and self-ratings for vision and decision-making (Charlton et al., 2006); and (d) self-efficacy beliefs, regarding processing speed and attentional abilities, are predictive of avoidance of difficult driving situations (Gabaude, Marquié, & Obriot-Claudel, 2010). Many authors have thus concluded that promoting accurate awareness permits older drivers to avoid risky driving situations and prevents them from avoiding easy situations that they can still cope with (e.g., Anstey, Wood, Lord, & Walker, 2005; Holland & Rabbitt, 1992).

Nevertheless, awareness-raising has several limitations, as do the studies on which it is based. First, these studies are correlational, and older drivers' avoidance of difficult driving situations may simply be the product of their weaker social engagement (Raitanen, Törmäkangas, Mollenkopf, & Marcellini, 2003). Second, the correlated data often come from self-reports, thus creating another possible bias in what is really being measured (McGwin, Owsley, & Ball, 1998). Third, although some preventive measures that are based on this awareness-raising approach are intended to enhance older drivers' self-regulation (Eby, Molnar, Shope, Vivoda, & Fordyce, 2003), their effectiveness has yet to be proven (Ker et al., 2005; Nasvadi & Vavrik, 2007). Finally, there is a marked discrepancy in findings relating to older adults' metacognitive abilities between the metamemory and driving fields, for although the former conclude that older adults have poorer self-regulation, the latter emphasize the need to raise older adults' awareness. This is also why we chose in the present study to apply classic metacognitive paradigms to an as-yet-metacognitively unexplored task, namely driving.

In our experiment, younger and older participants had to complete four increasingly difficult driving circuits and were then given a limited amount of time to train for a fictitious test. We argued that older drivers' (but not younger drivers') self-regulation would be incongruent with the predictions of the DR model whereas both groups' self-regulation would match the predictions of the RPL framework. We thus expected younger drivers to choose the most difficult circuits and allocate most of their self-paced training time to them (Dunlosky & Hertzog, 1998b), and we predicted that older drivers' RPL would concern easier circuits (Dunlosky & Connor, 1997; Metcalfe, 2002) because focusing on circuits of the same difficulty as the younger drivers might result in a "labor-in-vain" effect (Nelson & Leonesio, 1988). Further, we assumed that the circuits would be chosen in order of increasing difficulty during the self-paced training because the imposed time constraint would impel both age groups to maximize their training gains (Metcalfe & Kornell, 2005; Son & Metcalfe, 2000).

We also felt it was important to rule out the possibility that age-related differences in self-regulation might stem from differences in the quality of the older adults' monitoring (Dunlosky et al., 2003). We therefore asked both age groups to rank the four circuits performed on the simulator from the easiest to the hardest and, before using the driving simulator, to rank four circuits of increasing difficulty printed on sheets of paper. We predicted that discrepancies between the objective circuit rankings and the subjective ones made by each group would not vary between the less resource-demanding presentation modality (graphical) and the most resource-demanding modality (simulated), in which case any

age-related differences in self-regulation would not be attributable to age-related differences in the online monitoring of difficulty.

Method

Participants

Twenty-five younger and 27 older adults took part in the study. All participants scored above 24 on the Mini-Mental State Examination and were in excellent or good physical and mental health. They further stated that they were not taking any central nervous system medication, had been in possession of their driving license for at least 3 years, and drove between 5,000 and 25,000 km each year. Unfortunately, because of simulation sickness, we were only able to retain data for 21 younger adults and 16 older ones for further analyses (see Table 1). Participants were treated in accordance with the ethical standards of the American Psychological Association.

Materials

Four circuits of increasing difficulty. Counterbalanced across participants, these materials were presented to each participant first in graphical and then in simulated form. Their difficulty was manipulated in a cumulative manner by adding one difficulty at each level. For the purposes of our test, we identified and selected (a) left turns, a typical high-risk situation for older adults (Mayhew, Simpson, & Ferguson, 2006); (b) high-density traffic, a situation that older drivers are said to frequently avoid (Kostyniuk & Molnar, 2008); and (c) driving with restricted visibility (e.g., at night or in fog), also frequently avoided by older drivers (Hakamies-Blomqvist & Wahlström, 1998). Combining these three difficulties resulted in (a) the simplest circuit (coefficient 1, for online monitoring of difficulty and self-regulation), consisting mainly of straight roads with light traffic of approximately 20 cars; (b) the second easiest circuit (coefficient 2), also consisting only of light traffic but with four left turns; (c) a circuit combining the left turns with heavy traffic of approximately 80 cars (coefficient 3); and (d) the fourth and most difficult circuit (coefficient 4), to which we added foggy weather to circuit 3 to restrict the drivers' visibility. All of the driving tasks were performed in a fixed-base driving simulator (environment projected onto three forward screens with a 150° field of view).

Assessment of online monitoring of difficulty. A null difference between objective and subjective rankings of circuit difficulty (i.e., a perfect ranking of 1, 2, 3, 4) resulted in a discrepancy score of 0 and was achieved by 17 drivers in the graphical condition and 22 drivers in the simulated condition. In all other cases, the difficulty coefficient of each circuit (1, 2, 3, or 4, see above) was multiplied by the number of places the circuit had been displaced, with the ensuing discrepancy score being the sum of these four products. Thus, a 2, 1, 3, 4 subjective ranking scored 3 ($1 \times 1 + 2 \times 1 + 3 \times 0 + 4 \times 0$) whereas a 4, 1, 3, 2 subjective ranking scored 17 ($1 \times 1 + 2 \times 2 + 3 \times 0 + 4 \times 3$). The basic metric properties of this score and all of the observed combinations are set out in Appendix A.

Self-regulation. Self-regulation was explored via two training-related variables: (a) perseverance (i.e., the amount of time allocated to each circuit), in which 0 s were allocated to

nonselected circuits, and (b) order of circuit choices, in terms of difficulty.

Procedure

After arranging four different circuits displayed on A3 sheets in order of supposed difficulty, drivers completed four driving circuits in the simulator and then also ranked these from the easiest to the hardest. They were then told that they could train for a forthcoming test.¹ During this training session, we recorded the order of the participants' choices and their perseverance. The total time allowed was 480 s (i.e., approximately one third of the time needed to drive around all four circuits [330 s/circuit]). The participants were then thanked and debriefed.

Results

All of the dependent variables were submitted to a mixed-design analysis of variance (ANOVA) with age as a between-participant variable and all other independent variables as within-participant factors. We chose $p = .05$ as a significance threshold and partial η^2 as an indicator of effect size. Tukey's HSD was used to conduct post hoc analyses. Post hoc t tests were performed on individual comparisons when interaction terms were significant with Cohen's d as an effect size indicator. Driving performance was operationalized as the mean speed for each of the four circuits, quality of online monitoring by the discrepancy score, and self-regulation by perseverance and order of choices.

Driving Performance

A 2 (age) \times 4 (circuit difficulty) mixed ANOVA revealed that older adults drove more slowly than younger adults around all four circuits, $M = 44.05$ versus 52.88 km/h, $F(1, 35) = 20.16$, $p < .001$, $\eta^2 = .37$. There was also a main effect of circuit difficulty, $F(3, 105) = 94.20$, $p < .001$, $\eta^2 = .73$, such that both age groups drove more slowly around the third and fourth circuits ($M = 37.52$ vs. 45.09 km/h) than around the first and second circuits ($M = 57.86$ vs. 53.40 km/h, all $p \leq .01$). The lowest speed was recorded for the third circuit, not the fourth one, probably indicating that when their vision is restricted by fog, drivers paradoxically feel safer and drive faster. We did not observe any interaction effect.

¹The exact wording was as follows: "In the previous circuits, your driving was more or less confident, more or less safe. We are now going to allow you an 8-min practice session, where you can train yourself to drive as safely as possible for the next test. Hence, you can go back over exactly the same circuits. Of course, you are free regarding the choice of circuits, the order in which you practice them, and the time you spend on each of them, but you must respect the 8-min time limit. Inside the simulator, on your right, you can see a timer indicating the amount of time left before the end of your training session. If you wish to change from one circuit to another at any time, just say 'stop' and announce the number of the circuit you would like to drive around next. What is the number of the circuit you would like to begin with?"

Table 1
Mean Values and Standard Deviations of Participants' Main Characteristics

Variable	Younger		Older	
	Mean	SD	Mean	SD
Male/female ratio	13/8		11/5	
Age (in years)	29.67	3.38	71.75	5.31
Driving experience (in thousands of km)	15.38	8.06	11.38	6.14
Education (in years)	14.71	1.85	13.69	2.44
Mental health	8.78	1.51	7.82	1.40
Physical health	8.23	2.29	7.56	2.06
Mini-Mental State	29.11	1.10	28.63	1.26
Digit-Symbol Substitution	58.10	8.30	41.38	7.96

Note. Physical and mental health were subjectively rated on 10-cm scales ranging from “very bad” (0 cm) to “excellent” (10 cm). The Digit-Symbol Substitution Test (range 1–133) was drawn from the Wechsler Adult Intelligence Scale (3rd ed., French translation; Wechsler, 1989). The Mini-Mental State Examination (range 0–30) is a French translation of the original Mini-Mental State (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975).

Online Monitoring of Difficulty

A 2 (age) \times 2 (display condition) mixed ANOVA revealed no main effect of age or of condition, and no interaction between the two. The two groups' discrepancy scores were almost identical and neither of the groups scored above $M = 3.71$ (younger drivers in the graphical display condition), indicating a possible floor effect.

Perseverance During the Self-Paced Training

A 2 (age group) \times 4 (circuit difficulty) mixed ANOVA revealed no main effect of age or of circuit difficulty. As the interaction term indicates, $F(3, 105) = 8.48, p < .001, \eta^2 = .20$ (see Figure 1), older drivers spent more time than younger drivers on the easiest circuit ($M = 175.25$ vs. 60.33 s) and less time than younger drivers on the most difficult circuit ($M = 60.31$ vs. 186.29 s; $t(35) \geq 3.35, p < .01, d \geq 1.11$). The older drivers allocated more of their time to the first and third circuits ($M = 175.25$ and 123.81 s, respectively) than to the most difficult one ($M = 60.31$ s; $t(15) \geq 2.51, p = .02, d \geq 0.63$). Younger drivers allocated less time to the first and second circuits ($M = 60.33$ and 68.38 s, respectively) than to the third and fourth circuits ($M = 165.00$ and 186.29 s, respectively; all $t(20) \geq 2.36, p \leq .03, d \geq 0.51$). Unlike the younger drivers, but in accordance with previous results, older adults' self-regulation thus did not match the predictions of the DR model.

Order of Choices During the Self-Paced Training

A 2 (age group) \times 2 (order: first vs. second choice)² mixed ANOVA showed that the first choices of both age groups concerned easier items than the second choices ($M = 2.35$ vs. 2.89 ; $F(1, 35) = 6.56, p < .05, \eta^2 = .16$). Furthermore, the older adults' choices concerned easier circuits than the younger drivers' choices ($M = 2.19$ vs. 2.95 ; $F(1, 35) = 8.90, p < .01, \eta^2 = .20$). There was no interaction effect. As predicted, both age groups behaved in a strategic manner, concentrating on the easier, more achievable items to start with and only later moving on to harder ones.

Discussion

In this study, we sought to examine whether the central tenet of older adults' impaired self-regulation would still hold true if we

conceptualized it in terms of the RPL framework. Applying the latter in a driving setting would further help us to ascertain whether the RPL framework's validity extends beyond its obvious metamemory scope and whether the assessment of older drivers' self-regulation can be enriched by this behavioral paradigm.

Results confirmed our initial predictions in several respects. The older adults' self-regulation appeared not to match the predictions of the DR model (Hertzog & Hultsch, 2000). Although younger and older adults proved themselves equally capable of monitoring task difficulty (Robinson et al., 2006), the older adults chose to pay attention to easier items than the younger adults did (Dunlosky & Connor, 1997). However, these results do not per se mean that the older adults' self-regulation was inaccurate: Their cognitive and driving performances were poorer, and devoting as much time to the harder circuits as the younger adults did would presumably have led to a labor-in-vain effect (Nelson & Leonesio, 1988).

We argue that the older drivers focused on their RPL just as much as the younger ones did. During the self-paced training, they moved from easier to harder items, thus maximizing their chances of improving their overall driving performance within the allotted time (Son & Sethi, 2006). Given its consistency with the predictions of the RPL framework, the older adults' self-regulation was appropriate. This is an entirely new finding with respect to recent research on the self-regulatory abilities of older adults (Hines et al., 2009).

² Of 21 younger drivers, 7 chose to train on three circuits and 2 chose to train on all four circuits. In the group of older adults, 6 of 16 chose to divide their training time between three circuits and 3 of 16 chose to divide it between all four circuits. However, we only compared the drivers on their first two choices because the proportion of drivers who chose to divide their training time between three or more circuits was too low to meet the criteria for statistical analysis. Moreover, for all but one of the drivers who chose to train on three or four circuits, the order of choices revealed the same tendency: Either the drivers proceeded from the easiest to the hardest circuit (1, 2, 3, 4 or 1, 3, 4) or else they started with a more difficult circuit (2 or 3), moved on to a more difficult one (3 or 4), and only then tackled the easiest circuits (1 or 2). Both types of training were indicative of self-regulatory behaviors consistent with the predictions of the RPL framework. Only one younger driver behaved in a somewhat contradictory manner because he started with the second circuit, moved to the first, then to the fourth, and ended up with the third.

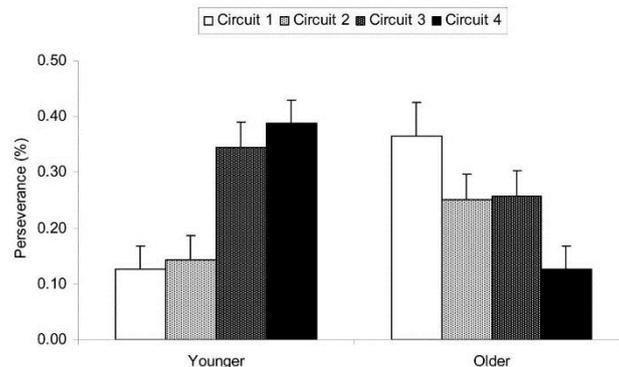


Figure 1. Perseverance of younger and older drivers during the self-paced training for the different circuits. Error bars indicate the standard error of the mean.

Thus far, the RPL framework has been used with respect to tasks such as learning foreign language vocabulary (Metcalf, 2002) or text recall (Stine-Morrow, Shake, Miles, & Noh, 2006). However, for some time it has been apparent that metacognitively guided self-regulation also needs to be investigated in dynamic environment settings (Hoc & Amalberti, 2007). Ours would appear to be the first study to use the RPL paradigm for this purpose, and we argue that it also sheds light on metacognitive abilities that are not directly linked to learning outcomes. Drivers who reflect on their (declining) abilities reflect on variations in task difficulty and adjust their behavior accordingly. For instance, when using a new car, they may recognize the need to familiarize themselves with the vehicle before engaging in risky situations, such as driving in adverse weather conditions or during the rush hour. Behaving in an RPL-like manner presumably requires the same metacognitive skills as those cited in the above example, and we can thus infer that individuals who achieve RPL-oriented self-regulation are more likely to drive safely than individuals who do not.

We do not intend to say that older drivers in this study behaved as if they were really driving. RPL paradigm per se is a learning task and the instruction used definitely invited drivers to improve their driving (i.e., to learn how to cope better with the circuits within the driving simulator). In fact, this may basically be different from the aim of older drivers when driving in the real world. However, we argue that behaving in an RPL-like manner indicates the existence of those metacognitive abilities (self-assessment, self-regulation, and the connection between the two) that might be at least worthwhile when driving in the real world. Of course, whether the use of these abilities really occurs and how much these abilities are accessible for older drivers outside of the laboratory remains as yet unknown.

On the strength of the RPL paradigm, we can also conclude that older adults are quite capable of undertaking self-regulation on the basis of their monitoring, thus challenging the “spared monitoring—impaired control” hypothesis (Hertzog & Hultsch, 2000; Hines et al., 2009). However, this conclusion is only a preliminary one because older adults’ self-regulatory efficacy has yet to be fully assessed. It has been assumed that metacognitive guidance of

study enhances learning (Thiede, 1999) and that people’s performance improves more if they are allowed to choose which items to study (Kornell & Metcalfe, 2006). We are reasonably confident that the choices our older drivers made led to the greatest possible improvements in their driving performance. Nonetheless, given that some authors assert that the quality of older adults’ decision-making differs according to whether it is based on deliberative or intuitive processes (Queen & Hess, 2010), more research is needed to collect further evidence of older adults’ self-regulatory efficacy and identify the cues underpinning older adults’ decisions (Robinson et al., 2006).

It may well be that the older drivers in our study simply tried to avoid the difficulty of driving the simulator. First, we may assume that the older drivers’ aim was to avoid as much as possible the simulator sickness phenomenon. However, this hypothesis can be ruled out: Although the fourth circuit was the least conducive of simulator sickness—the fact that most of the driving scene was concealed by the fog presumably diminished the perceivable discrepancy between the moving (displayed) and stationary (cabin-related) environments—it was only chosen by older adults exceptionally.

The second hypothesis is that older drivers targeted the easiest circuits because of the difficulties they had to manage while driving the simulator. In fact, older adults are argued to have more trouble adapting within new contexts, indicating that our older drivers might have some more difficulties than their younger counterparts in learning how to drive the simulator. Moreover, although two older drivers already had experience with the driving simulator before our experiment, they still chose to train on the easiest circuits, possibly suggesting that older drivers might require a long period before getting accustomed to the driving simulator.

No data of our study allow for discarding this second hypothesis. However, whatever might have been the reasons leading the older adults to focus their self-paced training on the easiest circuits, it still remains that their self-regulation proved accurate. Although the chosen circuits’ difficulty was lower than that of younger drivers, the older drivers still concentrated on the easier,

more achievable items to start with, only later moving on to harder ones. This supports our view that (a) the RPL paradigm is well suited to assess self-regulation in older adults and (b) that these latter are well able to monitor and self-regulate, at least when invited to improve their driving in the context of simulated driving.

References

- Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S., & Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling safety in older adults. *Clinical Psychology Review, 25*, 45–65. doi:10.1016/j.cpr.2004.07.008
- 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 and Prevention, 38*, 1038–1045. doi:10.1016/j.aap.2006.04.016
- Ball, K., Owsley, C., Stalvey, B., Roenker, D. L., Sloane, M. E., & Graves, M. (1998). Driving avoidance and functional impairment in older drivers. *Accident Analysis and Prevention, 30*, 313–322. doi:10.1016/S0001-4575(97)00102-4
- 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*, 363–373. doi:10.1016/j.trf.2006.06.006
- Connor, L. T., Dunlosky, J., & Hertzog, C. (1997). Age-related differences in absolute but not relative metamemory accuracy. *Psychology and Aging, 12*, 50–71. doi:10.1037/0882-7974.12.1.50
- Dunlosky, J., Baker, J. M. C., Rawson, K. A., & Hertzog, C. (2006). Does aging influence people's metacomprehension? Effects of processing ease on judgments of text learning. *Psychology and Aging, 21*, 390–400. doi:10.1037/0882-7974.21.2.390
- Dunlosky, J., Cavallini, E., Roth, H., McGuire, C. L., Vecchi, T., & Hertzog, C. (2007). Do self-monitoring interventions improve older adult learning? *Journals of Gerontology: Series B, 67*(Special Issue 1), 70–76.
- Dunlosky, J., & Connor, L. T. (1997). Age differences in the allocation of study time account for age differences in memory performance. *Memory & Cognition, 25*, 691–700. doi:10.3758/BF03211311
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (1998a). Aging and deficits in associative memory: What is the role of strategy production? *Psychology and Aging, 13*, 597–607. doi:10.1037/0882-7974.13.4.597
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (1998b). Training programs to improve learning in later adulthood: Helping older adults educate themselves. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Eds.), *Metacognition in educational theory and practice* (pp. 249–275). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Dunlosky, J., Kubat-Silman, A. K., & Hertzog, C. (2003). Training monitoring skills improves older adults' self-paced associative learning. *Psychology and Aging, 18*, 340–345. doi:10.1037/0882-7974.18.2.340
- 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*, 371–381. doi:10.1016/j.jsr.2003.09.006
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). 'Mini-mental state'. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research, 12*, 189–198. doi:10.1016/0022-3956(75)90026-6
- Gabaude, C., Marquié, J.-C., & Obriot-Claudel, F. (2010). Self-regulatory driving behaviour in the elderly: Relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Le Travail Humain: A Bilingual and Multi-Disciplinary Journal in Human Factors, 73*, 31–52. doi:10.3917/th.731.0031
- Hakamies-Blomqvist, L., & Wahlström, B. (1998). Why do older drivers give up driving? *Accident Analysis and Prevention, 30*, 305–312. doi:10.1016/S0001-4575(97)00106-1
- Hertzog, C., & Hultsch, D. F. (2000). Metacognition in adulthood and old age. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed., pp. 417–466). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hines, J. C., Tournon, D. R., & Hertzog, C. (2009). Metacognitive influences on study time allocation in an associative recognition task: An analysis of adult age differences. *Psychology and Aging, 24*, 462–475. doi:10.1037/a0014417
- Hoc, J. M., & Amalberti, R. (2007). Cognitive control dynamics for reaching a satisfying performance in complex dynamic situations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, 1*, 22–55. doi:10.1177/155534340700100102
- Holland, C. A., & Rabbitt, P. M. A. (1992). People's awareness of their age-related sensory and cognitive deficits and the implications for road safety. *Applied Cognitive Psychology, 6*, 217–231. doi:10.1002/acp.2350060304
- Ker, K., Roberts, I., Collier, T., Beyer, F., Bunn, F., & Frost, C. (2005). Post-license driver education for the prevention of road traffic crashes: A systematic review of randomised controlled trials. *Accident Analysis and Prevention, 37*, 305–313. doi:10.1016/j.aap.2004.09.004
- Kornell, N., & Metcalfe, J. (2006). Study efficacy and the region of proximal learning framework. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 32*, 609–622. doi:10.1037/0278-7393.32.3.609
- Kostyniuk, L. P., & Molnar, L. J. (2008). Self-regulatory driving practices among older adults: Health, age and sex effects. *Accident Analysis and Prevention, 40*, 1576–1580. doi:10.1016/j.aap.2008.04.005
- Light, L. L. (1991). Memory and aging: Four hypotheses in search of data. *Annual Review of Psychology, 42*, 333–376. doi:10.1146/annurev.ps.42.020191.002001
- Lyman, J. M., McGwin, G., & Sims, R. V. (2001). Factors related to driving difficulty and habits in older drivers. *Accident Analysis and Prevention, 33*, 413–421. doi:10.1016/S0001-4575(00)00055-5
- Mayhew, D. R., Simpson, H. M., & Ferguson, S. A. (2006). Collisions involving senior drivers: High-risk conditions and locations. *Traffic Injury Prevention, 7*, 117–124. doi:10.1080/15389580600636724
- McGwin, G., Owsley, C., & Ball, K. (1998). Identifying crash involvement among older drivers: Agreement between self-report and state records. *Accident Analysis and Prevention, 30*, 781–791. doi:10.1016/S0001-4575(98)00031-1
- Metcalfe, J. (2002). Is study time allocated selectively to a region of proximal learning? *Journal of Experimental Psychology: General, 131*, 349–363. doi:10.1037/0096-3445.131.3.349
- Metcalfe, J., & Kornell, N. (2003). The dynamics of learning and allocation of study time to a region of proximal learning. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*, 530–542. doi:10.1037/0096-3445.132.4.530
- Metcalfe, J., & Kornell, N. (2005). A Region of Proximal Learning model of study time allocation. *Journal of Memory and Language, 52*, 463–477. doi:10.1016/j.jml.2004.12.001
- Murphy, M. D., Schmitt, F. A., Caruso, J. C., & Sanders, R. E. (1987). Metamemory in older adults: The role of monitoring in serial recall. *Psychology and Aging, 2*, 331–339. doi:10.1037/0882-7974.2.4.331
- Nasvadi, G. E., & Vavrik, J. (2007). Crash risk of older drivers after attending a mature driver education program. *Accident Analysis and Prevention, 39*, 1073–1079. doi:10.1016/j.aap.2007.02.005
- Nelson, T. O. (1996). Consciousness and metacognition. *American Psychologist, 51*, 102–116. doi:10.1037/0003-066X.51.2.102
- Nelson, T. O., & Leonesio, R. J. (1988). Allocation of self-paced study time and the "labor-in-vain effect". *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 14*, 676–686. doi:10.1037/0278-7393.14.4.676
- Nelson, T. O., & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 26, pp. 125–169). San Diego, CA: Academic Press.
- 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, 393–400. doi:10.1016/S0001-4575(02)00016-7
- Queen, T. L., & Hess, T. M. (2010). Age differences in the effects of conscious and unconscious thought in decision making. *Psychology and Aging*, 25, 251–261. doi:10.1037/a0018856
- Raitanen, T., Törmäkangas, T., Mollenkopf, H., & Marcellini, F. (2003). Why do older drivers reduce driving? Findings from three European countries. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6, 81–95. doi:10.1016/S1369-8478(03)00007-X
- Robinson, A. E., Hertzog, C., & Dunlosky, J. (2006). Aging, encoding fluency, and metacognitive monitoring. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13, 458–478. doi:10.1080/13825580600572983
- 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*, 25, 65–76. doi:10.1353/cja.2006.0031
- Schlag, B. (1993). Elderly drivers in Germany—Fitness and driving behavior. *Accident Analysis and Prevention*, 25, 47–55. doi:10.1016/0001-4575(93)90095-E
- Son, L. K., & Metcalfe, J. (2000). Metacognitive and control strategies in study-time allocation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 204–221. doi:10.1037/0278-7393.26.1.204
- Son, L. K., & Sethi, R. (2006). Metacognitive control and optimal learning. *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, 30, 759–774. doi:10.1207/s15516709cog0000_74
- Stine-Morrow, E. A. L., Miller, L. M. S., Gagne, D. D., & Hertzog, C. (2008). Self-regulated reading in adulthood. *Psychology and Aging*, 23, 131–153. doi:10.1037/0882-7974.23.1.131
- Stine-Morrow, E. A. L., Shake, M. C., Miles, J. R., & Noh, S. M. (2006). Adult age differences in the effects of goals on self-regulated sentence processing. *Psychology and Aging*, 21, 790–803. doi:10.1037/0882-7974.21.4.790
- Thiede, K. W. (1999). The importance of monitoring and self-regulation during multitrail learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 662–667. doi:10.3758/BF03212976
- Thiede, K. W., & Dunlosky, J. (1999). Toward a general model of self-regulated study: An analysis of selection of items for study and self-paced study time. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 1024–1037. doi:10.1037/0278-7393.25.4.1024
- Wechsler, D. (1989). *Echelle d'Intelligence de Wechsler pour Adultes, Forme Révisée* [WAIS-R]. Paris, France: Centre de Psychologie Appliquée.

Appendix A

Basic Metric Properties of the Discrepancy Score, Observed Combinations, and Supplementary Analyses

In the graphical display condition, discrepancy scores varied between $min = 0$ (correct ranking 1, 2, 3, 4) and $max = 15$ points (ranking 3, 1, 4, 2): $M = 3.71$, $SD = 3.82$ for younger drivers and $M = 2.44$, $SD = 3.48$ for older drivers. In the driving simulator condition, discrepancy scores varied between $min = 0$ (correct ranking 1, 2, 3, 4) and $max = 9$ points (ranking 3, 1, 2, 4): $M = 1.95$, $SD = 2.77$ for younger drivers and $M = 1.94$, $SD = 2.93$ for older drivers. The discrepancy scores were distributed normally across all four experimental conditions. Table A1 indicates all of the observed combinations of subjective rankings, together with the attributed discrepancy scores and their frequency across the different conditions.

We performed a further analysis of the discrepancy score, this time calculated as the simple addition of erroneous rankings. For example, ranking the four circuits as 2, 1, 3, 4 resulted in a discrepancy score of 2 points (circuits 1 and 2 were each one place out) whereas ranking the four circuits as 3, 1, 2, 4 resulted in a discrepancy score of 4 points (circuits 1 and 2 each one place out,

circuit 3 two places out). In these conditions, a 2 (presentation: graphical vs. simulation) \times 2 (age: younger vs. older drivers) ANOVA revealed no main effect of age but a main effect of presentation, $F(1, 35) = 7.57$, $p < .01$, $\eta^2 = .18$, and most importantly an interaction between age and presentation, $F(1, 35) = 7.57$, $p < .01$, $\eta^2 = .18$. Although post hoc t tests did not indicate any age-related differences in the paper or the driving simulator versions, we found that the younger drivers' rankings improved between the paper version, $M = 1.71$, $SD = 1.59$, and the driving simulator version, $M = 1.05$, $SD = 1.36$; $t(20) = 3.16$, $p < .01$, $d = .70$. No such improvement occurred for older drivers because they obtained equal scores for the paper and the driving simulator versions ($M = 1.13$, $SD = 1.63$). In sum, these results indicate that although younger drivers improved their online monitoring between the paper and driving simulator versions, no such improvement occurred for older drivers, and most importantly both age groups achieved similar discrepancy scores, indicating that they did not differ significantly in their online monitoring abilities.

(Appendix continues)

Table A1
Subjective Rankings and Discrepancy Scores and Their Frequency in Different Experimental Conditions

Subjective ranking	Discrepancy score	Graphical display frequency		Driving simulator frequency	
		Younger	Older	Younger	Older
1, 2, 3, 4	0	7	10	12	10
2, 1, 3, 4	3	5	1	6	3
1, 3, 2, 4	5	6	1	0	0
1, 2, 4, 3	7	0	1	1	0
2, 3, 1, 4	7	0	1	1	2
3, 2, 1, 4	8	0	1	0	0
3, 1, 2, 4	9	2	1	1	1
3, 1, 4, 2	15	1	0	0	0

Received May 13, 2011
Revision received March 21, 2012
Accepted March 27, 2012 ■

Cognitive load measurement while driving

*Catherine Gabaude¹, Bruno Baracat², Christophe Jallais¹, Marion Bonniaud^{1,3},
& Alexandra Fort¹*

¹ *Université de Lyon-IFSTTAR, LESCOT, Bron,*

² *CUFR Jean-François-Champollion, Albi,*

³ *Université Lyon 2, Lyon,
France*

Abstract

Driving is a complex activity requiring good management of attentional resources, efficient cognitive control and decision-making. Numerous studies have sought to understand dual task interference, and in particular whether drivers have enough spare capacity to take on an additional task or whether the mental effort that demands results in driving task alteration. This study aims to analyse the relationship between mental effort and driving performance and to identify mental effort indicators from three different measurements recorded on a car simulator: cardiac activity, driving performance, and subjective data (DALI, Driving Activity Load Index). Three conditions have been designed to vary the driver's mental effort: driving as the sole task (control situation), driving while solving two different cognitive tasks, resolution of verbal or visuo-spatial enigmas. Preliminary results show that although heart rate variability does not seem sensitive enough to reflect the mental effort in car simulator studies the HF/LF ratio could be used as an indicator of the participant's investment in the task. In addition, the DALI seems useful for identifying the mental effort variation between the verbal and the visuo-spatial added tasks. Finally, the detection of mental effort from lane position variability seems encouraging.

Introduction

Driving is a complex activity carried out under time constraints and requiring dynamic adjustment of cognitive control to the driving context. Given that human behavior is active and adaptive, drivers seek to keep an acceptable level of performance at a comfortable level of effort (or energetical state) and achieve such an adaptation by means of a cognitive compromise to maintain an acceptable task load level (Hoc & Amalberti, 2007). As they drive, the task demand fluctuates according to the situations they encounter (e.g. monotonous driving vs. merging into a flow of traffic). Basically, the task load level is low when processes are automatic and high when processes are controlled and/or when several controlled tasks interfere. As pointed out by De Rivecourt et al. (2008), the mental workload concept is often used to indicate to what extent task demand affects a driver's information processing capacity. It is important to avoid confusing three notions – mental or cognitive resources, cognitive capacity and cognitive workload. According to

In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.) (2012). *Human Factors: a view from an integrative perspective*. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse. ISBN 978-0-945289-44-9. Available from <http://hfes-europe.org>

Barrouillet (1996), cognitive resources correspond to the maximum energy available, cognitive capacities to the maximum resources available at a given time and cognitive workload to the resources required. Unlike the other two notions, cognitive workload is not an individual property, depending instead on the characteristics of the task to be performed. The consequence of this for the driver is that his/her mental effort varies according to the difference between the information processing system resources available and required for performing a given task.

Both overload and underload can have an impact on drivers' performance. When the resources required exceed those available, human error can occur, but performance may also go down when the resources available exceed those required (e.g. even in complex situations drivers can act in an unconscious mode of activity, investing minimal resources in the present, by virtue of past and future actions, or, more frequently, in private objects that have nothing to do with the driving activity, see Hoc & Amalberti 2007 for a review). To guarantee optimum performance, the resources required should match the resources available to the driver. For example, it was demonstrated recently that mind wandering while driving may jeopardize the driver's ability to take account of information from the environment, thereby threatening road safety (Galéra et al, 2012). Intense mind wandering was associated in the study with being responsible for a crash: 17% [responsible] vs. 9% [not responsible], adjusted OR [95% CI]=2.12 [1.37-3.28]. As well as on-board safety monitoring systems dedicated to avoiding driver distraction caused by multi-tasking at the wheel, research to develop systems that can detect periods of driving vulnerability as a result of inattention due to mind-wandering or mental effort should be supported owing to the potential it offers for further improving safety.

Experimental research can be really helpful in this context. Different types of data (subjective, driving performance, and physiological data) can be collected to evaluate drivers' mental effort. The difficulty with subjective measures is that it is hard to distinguish the task demands from the invested effort, and so the use of complementary physiological measures is a good alternative. Several physiological measures (like heart rate and heart rate variability in two frequency bands) have been shown to be sensitive to mental effort (Boutcher & Boutcher 2006; Causse et al. 2011; Jorna, 1992; Wilson & Eggemeier, 1991). Low frequency bands (LF) are most consistently related to mental effort (Mulder, 1985), but high frequency bands (HF) have also proved to be sensitive to mental effort (Wilson, 1993). In general, Heart Rate (HR) increases and overall Heart Rate Variability (HRV) decreases when mental effort increases. This could be the result of orthosympathetic dominance over parasympathetic (Bucks, 1995; Bernston et al. 2007; Task Force, 1996). Even though spectral measures appear to be sensitive to task-rest differences but less so to difficulty levels within the same type of task, the use of physiological measures is promising for capturing mental workload and especially for simulator driving studies (Brookhuis & de Waard, 2010). For laboratory studies involving short tasks (between 30 s to 300 s) requiring demanding mental operations in working memory, the general cardiac response pattern in mental effort studies is similar. With these variables, it now seems possible to explore some important questions with the help

of spectral analysis of heart rate measures collected while driving a simulator. Is it possible to measure mental effort variation while driving? What are the methodological problems to be solved? Does the *measure* of mental effort vary according to the type of cognitive tasks performed by drivers? What are the best indicators of cognitive load variation?

Using empirical research, this study seeks to understand how drivers manage their mental effort while driving a simulator. Drivers' mental effort measurement is investigated by manipulating road type and the performance of two extra tasks (using a dual-task paradigm, i.e. where drivers have to solve verbal and visuo-spatial enigmas). Mental effort in this case is used as an indirect measure of operator capacity. As pointed out by Veltman (2002), it is possible that participants' motivation when performing the added task differs, with some participants willing to make an effort when performing the task and others not). To gain a better understanding of how drivers regulate their mental effort, an in-depth activity analysis will be conducted for each driving scenario.

It is expected that an increase in mental effort as a result of participants performing an additional task will be reflected by both subjective and objective measures. HRV is an objective index of mental effort that should be sensitive even if used during driving. A lower HRV is expected when mental effort is higher. In addition, the cognitive load should be higher for the visuo-spatial task because similar visuo-spatial abilities are required so it shares the same cognitive resources as driving. In our experiment, indicators of drivers' mental effort will also be investigated with a specific driving index (lane position).

Materials and method

Participants

Twenty-one individuals were included in this experiment. All of them had their driving licence for at least 5 years, had normal or corrected-to-normal vision and were naive to the purpose of the experiment. They were recruited via a newspaper advertisement. Participants were asked to avoid energy drinks for 3 days prior to the experiment (and drink less than 2 coffees per day); smokers of more than 5 cigarettes a day were excluded. The CPP Sud-Est Lyon II Ethics Committee approved the experiment, and all procedures were carried out in accordance with the relevant laws and ethical guidelines. All participants were required to read and sign an informed consent form. In return for taking part in the experiment, participants received 45 euros. 4 participants yielded data that could not be used (due to bad cardiac signal, failure of sensors or experimental errors). The mean age of the remaining 17 participants (12 men, 5 women) was 33 years ($\pm 3,5$).

Material

The study was carried out in an instrumented full-cab fixed-base simulator developed at IFSTTAR. The simulator is also equipped with virtual reality-based

visual and audio systems, a computer program for vehicle motion simulation, and a host computer system for simulating the driving environment. Driving performance data were captured at 60 Hz from the original equipment manufacturer brake, accelerator and steering wheel. A front projection screen provided 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 noise. Audio tasks and instructions were also communicated via the vehicle sound system. A microphone located inside the cab recorded participants' responses to the additional tasks.

Cardiac activity was recorded on lead II according to Einthoven's triangle, with three disposable electrodes (Ag-Cl). This signal was sent to a MP150 unit via a Bionomadix wireless device. AcqKnowledge 4.1 (running on a PC computer) was used for 1000 Hz acquisition with a 0.05 – 35 Hz band pass filter.

Procedure

After a training session with the driving simulator, participants had to respect the Highway Code. They drove on both motorways and secondary roads (with the same driving tasks in each scenario: direction following, speed regulation, overtaking). The experimental plan required them to drive with and without two types of additional cognitive task (verbal or visuo-spatial). Heart rate data were recorded during each experimental session.

- In the verbal task condition (VT), three words were communicated, and the driver had to find a 4th word associated with the other three (e.g.: "Sugar"; "Bees"; "Moon" plus "Honey" as a possible 4th word). After 30 s, if a participant did not find a solution, the three words were repeated once. After a further 30 s, a new enigma was communicated.

- In the visuo-spatial task condition (VST), before driving participants had to learn a 3x3 object grid containing nine different objects. Then, while driving, they were told to listen to a displacement instruction (up, down, left or right) and given 30 s to find and remember the name of the object in the target case. Every four instructions, they had to name the object aloud.

These tasks require only the utterance of a single word, interfering moderately with the HRV indices. The two additional cognitive tasks both required participants to remain focused on the enigmas throughout the driving scenarios. Each driving scenario lasted 7 to 10 minutes. All the conditions were counterbalanced between participants. After each driving scenario, participants used the Driving Activity Load Index (DALI) to assess their (subjective) mental effort.

*Measures and analysis**Cardiac data*

Before analysis, the cardiac signal was cleaned with digital filtering and/or template correlation and/or manual corrections until a clean tachogram was obtained. HRV was then calculated from a 5-minute recording in the LF (0.04 to 0.15 Hz) and HF (0.15 to 0.40 Hz) bands via FFT transformation and Power spectral density computation (expressed in $\text{sec}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$). LF and HF HRV as well as the LF/HF ratio in HRV were retained. All these computations were performed with AcqKnowledge 4.1. Five variables were used to describe cardiac activity: mean heart rate (HR), total heart rate variability (HRV), LF HRV, HF HRV and the LF/HF ratio in HRV.

Subjective data

Participants filled out the Driving Activity Load Index (DALI), a revised version of the NASA-TLX questionnaire adapted to the driving task (Pauzié et al. 2008). It assesses various dimensions including effort of attention, temporal demand, situational stress, and interference. Participants have to answer each question using a 6 point scale (0 = low, 5 = high). The total score is the sum of the four dimensions.

Driving data

In the search for a real-time indicator of drivers' low attentional status, we also analysed driving performance by studying lateral control during nominal driving. Lane position (the distance between the middle of the road and the vehicle's center of gravity) was analyzed with wavelet transforms. We extracted the wavelet coefficients at 10 Hz (best frequency defined after data visualisation). An individual baseline was set at the 70th percentile of the wavelet coefficients (arbitrary expertise-based value). Lane position variability was defined as the wavelet percentage below the baseline.

Regulation strategies

To gain a better understanding of how each driver coped with the mental effort, we analysed video data to obtain an in-depth activity analysis for each driving scenario. It was decided to assign penalty points whenever a driver was not able to perform the driving task or cognitive task in a manner deemed efficient. A penalty point was assigned every time a participant asked the experimenter for help, with the same procedure used for both driving errors and secondary task errors. An extra penalty point was given whenever the experimenter observed any signs of stress (breathing, mimics, scratching). It was thereby possible to define a workload regulation score: a low value indicated that the driver used the best regulation strategy (i.e. driving performance remained at a high level), and a high value indicated a worsening of driving performance in the two secondary task conditions. The penalty scores are shown in Figure 1 (min = 0 to max = 16.5). With a score of 0 to 8 points the workload regulation strategy was considered focused (9 participants were in the focused group; they were motivated by the driving task). With a score of 9 to 16.5 it was considered distracted (8 participants were in the distracted group; it was also noticed that they were often stressed by the experimental settings).

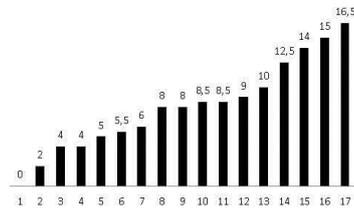


Figure 1: Workload regulation scores for all participants

Statistical analysis

Cardiac and subjective data were tested with a univariate repeated measures analysis of variance. Two independent variables were used: road type (motorway vs secondary road) and task type (driving alone, driving while solving verbal enigmas, driving while solving visuo-spatial enigmas). Standard post-hoc tests were used to compare all driving conditions.

In addition, as two mental load regulation strategies were identified (more focused on the driving task vs distracted by the additional task), a between-subject factor was added (group type). To analyse the effects of participants' workload regulation strategies on the cardiac data, an exploratory analysis was conducted including type of road and type of task as within-subject variable and group type as between-subject variable. This group analysis was performed on the HF power and LF/HF power ratio in order to test for differences in subjects' investment in the tasks. Finally, correlation coefficients were calculated between workload regulation scores and lane position variability.

Results

Subjective data for the mental effort measurement

For technical reasons, five participants failed to fill in the DALI questionnaire properly and were excluded from the analyses. No main effect of road type was found, but a main effect was observed for the driving task condition ($F(2,22)=5.24$, $p=0.029$, $\eta^2=0.32$). The subjective mental efforts as measured with the DALI differ, with post-hoc comparisons indicating that scores were lower in the control condition than in the other two conditions (verbal task and visuo-spatial task) (Figure 2). No significant interaction was observed between road type and driving task condition. The total score for the Driving Activity Load Index incorporating four dimensions (effort of attention, temporal demand, situational stress and interference) would appear to be sensitive to our experimental manipulation.

cognitive load measurement while driving

73

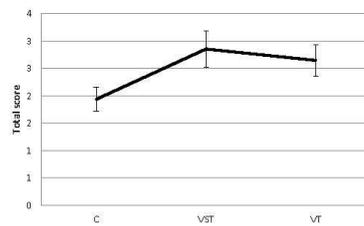


Figure 2: Total DALI scores for the three driving conditions

Objective data for the mental effort measurement

A unique significant effect was observed with the ANOVAS conducted on the five cardiac variables (HR, HRV, LF HRV, HF HRV, LF:HF ratio in HRV). A main effect was observed for the driving task condition for the HRV ($F(2,32)=3.99$, $p=0.033$, $\eta^2=0.20$). As illustrated in Figure 3 and confirmed by post-hoc analysis, HRV is higher in the verbal task condition than in the two other conditions (control and visuo-spatial). No significant interaction was observed between road type and driving task conditions.

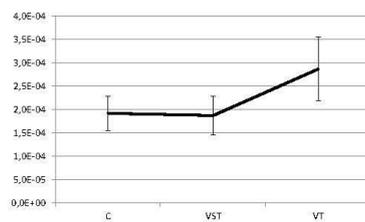


Figure 3: Total heart rate variability for the three driving conditions

The traditional correlation between HR and HRV is observed for the VST condition ($r=-0.702$, $p=0.002$), with HR increasing as HRV decreases.

Exploratory analysis according to the workload regulation strategies

These preliminary results must be interpreted with caution because of the small number of participants in each group. Many more participants will be included in the coming months to improve the statistical power of the results.

To understand the workload regulation strategies of the two participant groups, the LF/HF ratios in HRV (Figures 4 and 6) were analyzed in parallel to the HF HRV values (Figures 5 and 7). Based on these preliminary results, a significant

interaction effect is expected between road type and group type for the LH/HF ratio and the HF HRV values ($F(1,15)=3.78, p=0.07, \eta^2=0.20$ and $F(1,15)=4.26, p=0.06, \eta^2=0.22$ respectively) as more participants will be included. As the HF HRV values for the distracted group did not change according to road type (Figure 5), it would seem participants still invest in completing the secondary task, even on secondary roads in the case of greater driving task complexity (the cognitive load in this situation also increases slightly as the LF/HF ratio increases, cf. Figure 4. For the focused group the HF HRV value is higher on secondary roads. Participants seem to invest less in the additional tasks on secondary roads; it would appear that they retire from the secondary task more easily.

As shown in Figures 6 & 7, presented by task type, the two groups adopt different workload regulation strategies, especially for the verbal task. An interaction effect between task type and group type reaches significance for the LF/HF ratio and marginal significance for HF variability (respectively, $F(2,30)=3.43, p=0.05, \eta^2=0.19$ and $F(2,30)=3.02, p=0.07, \eta^2=0.17$). The only significant effect at this stage is a shift in the LF/HF ratio for the focused group in the VT task (see Fig 6)

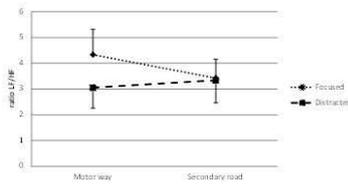


Figure 4: Interaction between road type and group type for the LF: HF ratio

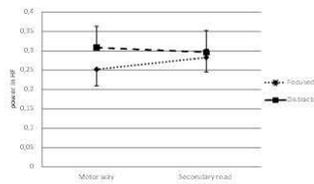


Figure 5: Interaction between road type and group type for HF variability

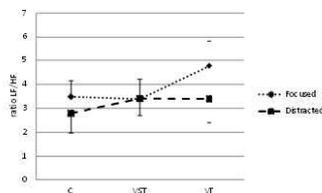


Figure 6: Interaction between task type and group type for the LF/HF ratio

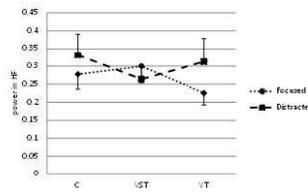


Figure 7: Interaction between task type and group type for HF HRV variability

Correlations between lateral control and workload regulation scores

To explore the influence of an extra task on driving performance, we studied lateral control during nominal driving by analysing lane position in the driving simulator. With reference to an individual baseline performance, we observed that, for both additional tasks, the workload regulation score was correlated with lane position variability at 10 Hz (VST: $r = 0.66$, $p = 0.005$; VT: $r = 0.75$, $p = 0.001$): the higher the penalty score, the higher the lane position variability. When a mental effort is made, lane position at this specific frequency seems amplified.

Discussion

Through an experimental approach using a dual-task paradigm, subjective, cardiovascular, task performance and driving indices were measured in a driving simulator in order to analyse the relationship between mental effort and driving performance and in an attempt to identify mental effort indicators. The subjective and objective data results indicate that the drivers made an extra mental effort to solve a number of enigmas. Consequently, at the subjective level, the mental effort measured in the DALI is higher for the two additional tasks than for the control situation.

Regarding the cardiac data, the results were less clear-cut. As overall HRV was lower for the control and VST conditions, the mental effort measured with the cardiac data seemed higher for these two conditions. What is surprising is that HRV was also low for this control situation, whereas it was supposed to be the lowest in mental workload. It seems that even when the participants were driving without an additional cognitive task the mental effort invested by them was higher when they were only driving the simulator than when they were driving while solving the verbal enigmas. Further analysis will be conducted in an attempt to explain the low HRV obtained in the control condition. Contrary to our expectations, cardiac activity as measured through the overall HRV index is not the right one for discriminating the control condition (only driving) from the other two conditions (driving while performing an additional cognitive task).

For the Verbal condition, it was expected that HRV would be lower than for the control task, but, surprisingly, it was higher. This result can be discussed in terms of the mental effort invested in carrying out the extra task. It is assumed that an increase in task demands is linked to an increase in mental effort (Clossen et al. 2004; Vicente et al., 1987). Accordingly, we hypothesized that a more demanding task would require greater mental effort in order for it to be adequately completed. We noticed, however, that the complexity of the verbal task was not constant throughout the period studied, insofar as the difficulty to find a solution varied depending the different three-word sets. For some sets, the solution was sometimes obvious (found fairly automatically without any mental effort required). For the more difficult enigmas, it is possible some of the participants failed to spend the

entire minute with their attention focused on finding the solution, withdrawing instead from solving the task. Because of their successive failures, the motivation for these participants to complete this task may also have been lower and their mental effort not constant (Veltman, 2002). Further experiments are currently being conducted on this specific issue (Baracat et al., 2012) in order to test this hypothesis.

For the Visuo-Spatial condition, the traditional correlation was observed between HR and HRV (e.g. Mulder, 1992; Jorna, 1992), in other words HR increases as HRV goes down. In this particular condition, the mental effort seemed greater than in the verbal condition. This result can be interpreted as strong investment on the part of the participants for the whole 5-minute period. The difference observed between the two additional tasks is also consistent with our hypothesis that the visuo-spatial task should be more disruptive than the verbal one as it shares some visuo-spatial characteristics in common with the driving activity.

The general cardiac response pattern in mental effort studies is characterized by an increase in heart rate and a decrease in heart rate variability (HRV) when mental effort increases, and vice versa. The same pattern of results is also found in field studies and simulator studies (Brookhuis & De Waard, 2010; Jorna, 1993; Mulder, 1992), such that cardiac activity and especially HRV has long been used to gauge mental effort (i.e. Boutcher & Boutcher 2006; Causse et al. 2011; Jorna, 1992; Wilson & Eggemeier, 1991). However, this pattern of variations could be obtained in different ways at the autonomic level. Generally a rehearsal in sympathetic activity is observed, coupled with a reduction in parasympathetic activity. Nevertheless, this is not systematically the case, and the same kind of variations in HR and HRV could be obtained with a different mode of autonomic regulation (Berntson et al., 1991; Berntson et al., 1993). An interesting issue here is the evaluation of a subject's investment in the tasks as attested by a shift in orthosympathetic activity, independently of parasympathetic variations. The LF/HF ratio can be analysed in this context, but, unfortunately, at the autonomic level there is only one unambiguous measure namely the power in the HF band which is related solely to the parasympathetic activity. For its part, the power in the LF band is a mixture of parasympathetic and orthosympathetic influences. Consequently, an orthosympathetic shift can be asserted only when the LF/HF ratio changes without any change in HF. Thanks to the workload regulation strategies approach, the group comparison to be conducted in future with more participants in each group could provide a possible explanation regarding dual task management or investment in carrying out additional tasks.

It is possible that this study has a methodological limitation relating to the width of one frequency band chosen. As recommended by the Task Force (1996), HRV was calculated in the 0.04 to 0.15 Hz Low Frequency band. As mentioned in De Rivecourt et al. (2008), the HRV in the 0.02 to 0.06 Hz band is mostly to do with the regulation of body temperature and gradual change in task characteristics. As changes in temperature regulation functions often arise with simulator sickness (Casali et al., 1988), this may have had an influence on the mental effort

measurement conducted in this experiment. We shall be studying the HRV in the two different bands (0.04 to 0.07 Hz and 0.07 to 0.14 Hz) to clarify this issue.

A major restriction to the use of ECG-based measures is the effect speech has on blood pressure, and therefore on the 0.10 Hz component of heart rate variability (Mulder, 1988; Sirevaag et al., 1993). In our experiment, verbalization was not a predominant aspect of operator performance. The answers to the enigmas were really short and infrequent (about one word per minute). As Porges & Byrne (1992) recommend no corrective action in cases where the verbalization duration is short (less than 10 s) or if speech is relatively infrequent (one to five times per minute), we thought we could use ECG-based measures to evaluate drivers' mental effort with these two cognitive tasks.

Other methodological approaches regarding mental effort assessment could be envisaged. For example, the development of short-term analysis techniques seems promising. First, the possibility to analyse Evoked Cardiac Response (ECR) associated or not with galvanic skin response (GSR) is being examined (Baracat et al, 2012). Another study also indicated that a short-segment averaging approach is well suited for obtaining spectral power estimates of short data segments even with varying length (de Rivecourt et al. 2008). Finally, realtime detection of workload changes with heart rate variability using sub-Gaussian fitting could be used (Hoover et al, 2012).

Moreover, to take this type of studies further, an in-depth analysis of driving behaviour is also necessary. In a road safety perspective, it is important to increase our knowledge about attentional failures during driving. With this kind of experimental procedure associated with a driving activity analysis, a classification of attentional failures could be considered and could allow us to gain a better understanding of how driving performance is impaired (for example, distraction errors leading to a failure of routines could be dissociated from failures in motor control or interruption errors and discrimination errors).

This study aimed to explore the influence of cognitive task completion on driving activity taking into account the cardiac signal. In the near future, the complementarity between this technique and electrophysiological techniques already used in driving simulator studies (Bueno et al, 2012; Fort et al, 2010; Fort et al., 2013) will be investigated. Better understanding of drivers' cognitive workload regulation should be sought in order to identify avenues worth exploring regarding awareness campaigns and the design of driving assistance. To that end, driver monitoring with the help of computational techniques have the capability to determine optimal sensor fusion and automated data analysis for the recognition of mental effort and stress manifestation. In this regard, the result regarding lateral control of the vehicle, identifying a possible indicator of the impairment of driving performance when the driving activity is monotonous (nominal driving) is encouraging.

The experimental approach developed in this study with physiological, behavioural and subjective data, combined with the methodological development suggested is a promising approach towards better identification of driving performance degradation, a necessary step to improving road safety.

Acknowledgements

The research was supported by an ANR (French National Research Agency) grant (ANR-09-VTT-04).

References

- Backs, R. (1995). Going beyond heart rate: autonomic space and cardiovascular assessment of mental workload. *The international journal of aviation psychology*, 5, 25-48.
- Baracat, B., Fort, A., & Gabaude, C. (2012). Assessment of cognitive load induced by a dual task using cardiac and GSR measures. *Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting*, Toulouse, October 10-11, France.
- Barrouillet, P. (1996). Ressources, capacités cognitives et mémoire de travail : postulats, métaphores et modèles. *Psychologie française*, 41, 319-338.
- Bernston, G.G., Quigley, K.S., & Lozano, D. (2007). Cardiovascular psychophysiology. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinari & G. G. Bernston. *Handbook of psychophysiology*. Cambridge University Press. pp 182-210.
- Bernston, G.G., Cacioppo, J.T. & Quigley, K.S. (1991). Autonomic determinism: the modes of autonomic control, the doctrine of autonomic space, and the laws of autonomic constraint. *Psychological Review*, 98, 459 - 487.
- Bernston, G.G., Cacioppo, J.T. and Quigley, K.S. (1993). Cardiac psychophysiology and autonomic space in humans: empirical perspectives and conceptual implications. *Psychological Bulletin*, 114, 296 - 322.
- Boutcher, Y. N., & Boutcher, S. H. (2006). Cardiovascular response to Stroop: Effect of verbal response and task difficulty. *Biological psychology*, 73(3), 235-241.
- Brookhuis, K.A., & De Waard, D. (2010). Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. *Accident Analysis and Prevention* 42, 898-903.
- Bueno, M., Fabrigoule, C., Deleurence, P., N'diaye, D. & Fort A. (2012). An electrophysiological study of the impact of a forward collision warning system in a simulator driving task. *Brain research*, 1470, 69-79.
- Casali, J.G., & Franck, L.H. (1988). Manifestation of visual/vestibular disruption in simulators: Severity and empirical measurement of symptomatology. In: AGARD, motion cues in flight simulation and simulator induced sickness (AGARD Conference Proceedings No. 433, pp. 11.1-11.18). Neuilly-sur-seine, France: Advisory Group for Aerospace Research and Development.

- Causse, M., Baracat, B., Pastor, J., & Dehais, F. (2011). Emotion and uncertainty favor risky decision-making in pilots: evidence from cardiovascular and oculometric measurements. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *36* (4), 231-242.
- Crossen, F., Meijman, T., & Rothengatter, T. (2004). Adaptive strategy changes as a function of task demands: a study of car drivers. *Ergonomics*, *47*, 218-236.
- De Rivecourt, M., Kuperus, M.N., Post, W.J., & Mulder L.J.M. (2008). Cardiovascular and eye activity measures as indices for momentary changes in mental effort during simulated flight. *Ergonomics*, *51*, 1295-1319.
- Fort, A., Martin, R., Jacquet-Andrieu, A., Combe-Pangaud, C., Foliot, G., Daligault, S. & Delpuech, C. (2010). Attentional demand and processing of relevant visual information during simulated driving: A MEG study. *Brain Research*, *1363*, 117-127.
- Fort, A., Collette, B., Bueno, M., Deleurence, P., & Bonnard, A. (2013). Impact of totally and partially predictive alert in distracted and undistracted subjects: an event related potential study. *Accident Analysis and Prevention*, *50*, 578-586.
- Galera C., Orriols, L., M'Bailara, K., Laborey, M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon, R., Masson, F. Bakiri, S., Gabaude, C., Fort, A., Maury, B., Lemerrier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., Lagarde, E. (2012). Mind Wandering and Driving. *British Medical Journal*, *345*:e8105 (Published 13 December 2012).
- Hoc, J.M., & Amalberti, R. (2007). Cognitive control dynamics for reaching satisficing performance in complex dynamic situations. *Journal of cognitive engineering and decision making*, *1*, 22-55.
- Hoover, A., Singh, A., Fishel-Brown, S., & Muth, E. (2012). Real-time detection of workload changes using heart rate variability. *Biomedical Signal Processing and Control* *7*(4), 333-341.
- Jorna, P.G.A.M. (1992). Spectral analysis of heart rate and psychological state: a review of its validity as a workload index. *Biological Psychology*, *34*, 237-257.
- Jorna, P.G.A.M. (1993). Heart rate and workload variations in actual and simulated flight. *Ergonomics*, *36*, 1043-1054.
- Mulder, G., (1985). Attention, effort and sinus arrhythmia: how far are we? In J.F. Orlebeke, G. Mulder, and L.P.J. van Doornen (Eds.) *The psychophysiology of cardiovascular control*. New-York: Plenum Press, 407-424.
- Mulder, L.J.M. (1988). Assessment of cardiovascular reactivity by means of spectral analysis. PhD Thesis. Groningen: University of Groningen.
- Mulder, L.J.M. (1992). Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environments. *Biological Psychology*, *34*, 205-236.
- Pauzié, A. (2008). A method to assess the driver mental workload: the driving activity load index (DALI). *IET Intelligent Transport Systems*, *2*, 315-322.
- Porges, S.W. & Byrne, E.A. (1992). Research methods for measurement of heart rate and respiration. *Biological Psychology*, *34*, 93-130.
- Sirevaag, E.J., Kramer, A.F., Wickens, C.D., Reisweber, M., Strayer, D.L. & Grenell, J.F. (1993). Assessment of pilot performance and mental workload in rotary wing aircraft. *Ergonomics*, *36*, 1121-1140.

- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability: standard of measurement, physiological interpretation and clinical use. *European Heart Journal*, *17*, 354-381.
- Veltman, J.A., (2002). A comparative study of psycho physiological reactions during simulator and real flight. *The International Journal of Aviation Psychology*, *12*, 33-48.
- Vicente, K.J., Thornton, D.C. & Moray, N. (1987). Spectral analysis of sinus arrhythmia: a measure of mental effort. *Human Factors*, *29*, 171-182.
- Wilson, G.F., & Eggemeier, F.T. (1991). Physiological measures of workload in multi-task environments. In D. Damos (Ed.), *Multipletask performance* (pp. 329-360). London: Taylor & Francis.
- Wilson, G. F. (1993). Air-to-Ground Training Missions - a Psychophysiological Workload Analysis. *Ergonomics*, *36*(9), 1071-1087.

Annexe 7 : Résumé long en anglais

To preserve the independence and quality of life of our seniors, it is essential to reconcile the requirements of security issues with mobility ones. Public action in road safety can be renewed by being sensitized to the issue of security management, i.e. by searching underlying rationalities from the observed behaviors. This requires studying the security in action from senior drivers' activity analysis. Most of the older drivers use their capabilities in order to build an appropriate response to the driving conditions encountered. These coping skills enable them to remain fit to drive. Starting from practice, this approach allows to redefine the "good driving" rules and thus shed new light on the driving assessment issue.

In French, the translation of the word "driving" is a polysemic term. In this "habilitation to conduct research" dissertation, it will be used in its generic sense. It includes an objectified part (behavior) and a non-objectified part: the reason, the motive, the act(s) of thought that come before, during or after a performance. The research works I have conducted tried to elucidate the roles of cognitive, affective and conative processes to capture the processes' intermediate parts (or links) involved in the adopted behaviors; we based our investigations on the study of intra and inter-subjective processes. This approach allows us to objectivize the origins and sometimes the causes of behaviors. However, to better understand them, an observation approach must be associated. Indeed, through observation, the objective reasons to act are figured-out by building a posteriori arguments based on observed behavior and statements from the individuals. These two approaches are complementary, they allow to explain and to understand behaviors in order, ultimately, to better act.

A central concept in the study of adaptation to normal cognitive aging is the cognitive control (ability to respond to stimuli based on the present context, past indices and internal aims). The study of cognitive control during driving allows the description of different forms of adaptation exploring their dimensions, their mechanisms and their determinants. To understand seniors' behaviors, it is also necessary to take into account their situation, their needs, their physical and social environments to better describe their difficulties and the risks they are exposed to. The complementarity of different tools and methods used to tackle this issue is addressed. The research conducted to date help to clarify aims to be reached in order to increase senior safety, to identify priority actions and also to help public authorities to take rational decisions that maximize both the mobility and safety of older drivers. Through examples, we described the adaptive strategies adopted by some older drivers to safe act against disturbances that appear while aging and we also describe how we can identify older drivers who do not adapt optimally. As attention capacities are essential to preserve a safe driving, an expand section on attentional failure while driving is also presented. **Within the two research lines, whose main results are detailed below, it is shown that the concept of estimation bias is central to the implementation of driver' behavioral self-regulation.**

1. Older drivers' self-regulatory behaviors were explored regarding declared aberrant driving behaviors and perceived abilities⁴⁸. The study suggests that **perceived abilities, especially self-assessed driving related processing speed and attentional abilities, play a major role in the decision to self-regulate its own behaviors** (avoiding difficult driving situations) and that such self-efficacy beliefs are a stronger predictors of avoidance than driver behavior questionnaire. The avoidance of difficult driving situations as a behavioral self-regulation option were also compared

⁴⁸ Gabaude, C., Marquié, J., & Obriot-Claudiel, F. (2010). Self-regulatory behaviour in the elderly: relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Le Travail Humain*, 73(1), 31-52.

between young and older drivers⁴⁹: the older drivers reported greater avoidance situations than the younger drivers, more significant correlations were observed between self-reported driving avoidance and both health-related perceptions and objective indicators of cognitive function among them. To explore if older adults spontaneously draw on their monitoring skills to accurately self-regulate their behaviors, we explored drivers' self-regulation within discrepancy reduction framework and the region of proximal learning⁵⁰: we have shown that younger and older drivers were thus equally able to identify their region of proximal learning. In a complementary study, we have also shown that **exposing older drivers to a stereotype threat severely impairs their self-regulatory skills**; this is at least partly due to exhaustion of the executive resources appearing through working memory overload⁵¹. These research works were the starting point for a wider reflection on the implementation of more effective training interventions, especially for older drivers that present a cognitive self-assessment bias⁵². These interventions will allow to support behavior change in order to improve the comfort and safety of older drivers.

2. Due to substantial gains in road safety due to speed reduction, safety-belt wear, and the diminution of driving under alcohol influence, the proportion of accidents due to attention failure while driving increases. In a four years project funded by the French research agency (ANR), we worked in a multidisciplinary team (cognitive and mathematical sciences and epidemiology) to clarify the road safety issues and identify avenues for innovative actions to better supervise the driver. A first step was to **identify the risk fractions attributable to different types of attention failure in order to better prevent them**. A survey was conducted in Bordeaux hospitals. 955 drivers injured in a road accident were interviewed following their admission to the emergency rooms. They were asked to report their activity and the content and intensity of their thoughts in the moments before the accident. Of the 453 drivers related to mind wandering (MW), the contents proved intense or disturbing for 121. These thoughts were significantly more frequent among drivers responsible for the accident. It thus appears that an accident on ten is linked with a driver intrusive thought (Galéra et al., 2012)⁵³. Distractions related to events outside the vehicle and driver activity are also associated with responsibility (OR 3.3 and 9.6 respectively). Attributable share of casualties related to external distraction is estimated at 9 % (Bakiri et al., 2013)⁵⁴. These epidemiological findings show that attention failure during driving is a road safety deposit that may reduce the number of casualties on our roads. In a second step, we also tried to **understand the influence of various failure of attention on driver behavior**. First, three forms of cognitive interference were studied to

⁴⁹ 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, 18-27.

⁵⁰ Moták, L., Huet, N., Gabaude, C., & Bougeant, J.-C. (2012). Older Drivers' Self-Regulation: Discrepancy Reduction or Region of Proximal Learning? *Psychology and Aging*, 27(4), 1164-1171.

⁵¹ Brelet, L., Moták, L., Ginet, M., Huet, N., Izaute, M., Gabaude, C. (in press). Enhancing older drivers' safety: on effects induced by stereotype threat to older adults' driving performance, working memory and self-regulation. *Geriatrics*, 2016, 1-20. doi:10.3390/geriatrics1030020

⁵² Hay, M., Adam, N., Bocca, M.-L., Gabaude, C. (in press). Effectiveness of two cognitive training programs on the performance of older drivers with a cognitive self-assessment bias. *European Transport Research Review*. DOI: 10.1007/s12544-016-0207-7

⁵³ Galéra C., Orriols, L., M'Bailara, K., Laborey, M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon, R., Masson, F. Bakiri, S., Gabaude, C., Fort, A., Maury, B., Lemercier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., Lagarde, E. (2012). Mind Wandering and Driving. *British medical Journal (BMJ)* 2012;345:e8105, Published 13 December 2012).

⁵⁴ Bakiri S., Galera C., Lagarde, E., Laborey M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon R., Salmi, R., Gabaude, C., Fort A., Maury B., Lemercier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., Orriols L. (2013). Distraction and driving: results from a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. *Accident Analysis & Prevention*, 59: 588-592.

describe their effects on simulated driving behavior and the treatment of information (studied with the evoked potentials technic). Visuospatial cognitive distractions impacted anticipation (by observing the contingent negative variation, CNV), while verbal distractions impacted the information processing at sensory and cognitive processing steps. The experimental results showed the differential influences of various types of cognitive control (attentional control, emotional control and behavioral inhibition). Experiments conducted on a simulator and on the road showed that: retrospective and prospective thoughts change ocular strategies (eye gaze and increased pupillary diameter; Lemercier et al., 2014)⁵⁵, the increased cognitive effort results in increased heart rate associated with a decrease of its variability and different regulation strategies have been described for the control of cognitive effort while driving (Gabaude et al., 2012)⁵⁶. A complementary study have then shown that the real-time detection of cognitive effort is feasible⁵⁷. A survey through the use of an off-line questionnaire was also conducted to reveal the individual and contextual characteristics of driving in a MW state, to describe behavioral consequences of MW on driving and to determine the characteristics of off-task thoughts while driving (Berthié et al., 2015)⁵⁸. In this research project, **the influences of MW on the accident risk and on the driving behavior have been demonstrated, it provides avenues of research and an insight into new original development.** The complementarity of the two types of methods to analyze the impact of cognitive distraction on driving activity by exploratory and confirmatory analysis was discussed. Geometry information methods have been used to analyze data applied from the vehicle side to enable the thresholds identification beyond which it is probable that the driver performs driving competing activity (Letelier, 2012)⁵⁹. These criteria are not always sensitive because of the variability of observed behaviors. The psycho-ergonomic analysis of the drivers' activities could help to better describe the various regulation strategies that can be adopted. This approach is required to identify, from the data side, the most sensitive and specific algorithms. This will be the first step towards the development of a driver supervision system, thus contributing to the objectives of reducing road accidents. By comparing different disciplinary perspectives, this project has allowed substantial progress on the subject of attention failure while driving. We began to understand the causes and origins of various attention failure and their consequences on driving. The exploratory analysis of sequential data and supervised learning techniques (data-mining) applied to the data collected on highway are used to search algorithms able to identify a distracted driver. New technological challenges, consisting in the adaptation of driving assistance depending on the driver state, will soon be addressed.

The work presented in this dissertation also stress the need to broach health issues in their complexity and not to address the driving ability issue in regard of a unique road safety policy. To take advantage

⁵⁵ Lemercier, C. Pêcher, C., Berthié, G., Valéry, B., Vidal, V., Paubel, P.V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., Gabaude, C., Lagarde, E., Maury, B. (2014). Inattention behind the wheel: how factual internal thoughts impact attentional control while driving. *Safety Science*, 62, 279-285.

⁵⁶ Gabaude, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.) (2012). *Human Factors: a view from an integrative perspective*. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse, 67-80. ISBN 978-0-945289-44-9. Available from <http://hfes-europe.org>

⁵⁷ Pépin, G., Jallais, C., Fort, A., Moreau, F., Navarro, J., Gabaude, C. (in press). Towards real-time detection of cognitive effort in driving: contribution of cardiac measurement. *Le travail Humain*.

⁵⁸ Berthié, G., Lemercier, C., Paubel, P.V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., Lagarde, E., Gabaude, C., Maury, B. (2015). The restless mind while driving: drivers' thoughts behind the wheel. *Accident Analysis and Prevention*, 76, 159-165.

⁵⁹ Letellier O. (2012). Détection de l'inattention au volant par des méthodes de géométrie de l'information. Mémoire de master de mathématiques, Université Orsay Paris Sud, septembre 2012, 53 p.

of successful aging, the elderly must evolve with their environment and adapt consequently. The increase of knowledge on this adaptation notion is essential. The knowledge gained on the adaptation to cognitive aging must now be exploited to develop interventions to accompany the older drivers in various stages of adoption of precautionary behavior. In the perspective section outlined in this dissertation, we develop four directions to implement research actions in order to: accompany the public authorities on issues related to the safe mobility of seniors, better prevent negative effects of aging, offer to older users the digital revolution opportunities taking place in the health and transportation domains and lastly to promote a continuum of mobility for our seniors. In future research, it will also be necessary to evaluate the effectiveness of the different actions or interventions proposed, some first ideas in this direction are suggested.