



HAL
open science

Effet du vieillissement et/ou de la pathologie sur la mobilité: Implication des fonctions cognitives

Maud Ranchet

► **To cite this version:**

Maud Ranchet. Effet du vieillissement et/ou de la pathologie sur la mobilité: Implication des fonctions cognitives. Sciences cognitives. Université Lyon 1 - Claude Bernard, 2023. tel-04382078

HAL Id: tel-04382078

<https://hal.science/tel-04382078>

Submitted on 20 Feb 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NoDerivatives 4.0 International License



Université Claude Bernard Lyon 1

Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches

Effet du vieillissement et/ou de la pathologie sur la mobilité :

Implication des fonctions cognitives

Soutenue publiquement par

Maud Ranchet

Le 15 Décembre 2023

Jury

Cédric ALBINET, Professeur des Universités, Institut National Universitaire Champollion Albi

Examineur

Sylvie BONIN-GUILLAUME, Professeure des Universités – Praticien Hospitalier, Aix-Marseille Université

Rapporteure

Emmanuel BROUSSOLLE, Docteur en Médecine et Docteur d'Université

Membre invité

Sophie JACQUIN-COURTOIS, Professeure des Universités – Praticien Hospitalier, Université Claude Bernard Lyon 1

Examinatrice

Isabelle MILLEVILLE, Chargée de Recherche, CNRS

Rapporteure

Philippe PUDLO, Professeur des Universités, Université Polytechnique Hauts de France

Rapporteur

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement tous les membres du jury. Les rapporteur.e.s : Sylvie Bonin-Guillaume, Isabelle Milleville et Philippe Pudlo. Les examinatrices et examinateurs : Sophie Jacquin-Courtois, Cédric Albinet et Emmanuel Broussolle. C'est un grand honneur pour moi de vous compter parmi les membres de mon jury. Chacune et chacun apporte sa spécificité et vos compétences sont complémentaires. Je ne pouvais rêver mieux !

Un merci particulier au Professeur Broussolle, qui a été pendant 3 ans mon directeur de thèse. Merci Professeur d'avoir accepté d'être membre invité de ce jury ! Je me souviens de nos échanges et de vos remarques toujours pertinentes lors de la rédaction des articles et la préparation de ma thèse. Je suis heureuse de vous revoir et de partager ce moment avec vous.

Je remercie toutes les personnes qui ont relu mon document : Laurence Paire-Ficout, Caroline Pigeon, Céline Villa, Virginie Etienne, Marion Giroux, Floriane Delphin-Combe, Isabelle Hoang et Claude Marin-Lamellet. Vous m'avez permis de clarifier ma pensée.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Laurence Paire-Ficout, actuellement directrice du laboratoire. La plupart de mes recherches sont menées avec toi et quel plaisir quotidien de travailler en équipe ! Cette partie de remerciements ne suffirait pas pour exprimer ma gratitude alors je vais juste te redire MERCI pour tes conseils précieux et ton soutien permanent... Je suis convaincue que nous continuerons encore de longues années à travailler ensemble sur les thématiques qui nous animent !

Un grand merci aussi à Caroline. Je suis tellement contente que tu sois au laboratoire. Je suis sûre que nous construirons ensemble de beaux projets de recherche.

Céline, tu as été ma collègue au PICS-L et tu es une précieuse amie : merci pour tes conseils appliqués.

Marion, Floriane, j'espère que nous poursuivrons nos recherches même si certains aspects administratifs nous rendent la tâche difficile.

Claude et Virginie, je tiens à vous remercier de m'avoir encadré lors du Master. Sans vous, je ne serai probablement pas là. Même si nous nous voyons moins, vos avis restent toujours très précieux et je vous exprime ma gratitude pour avoir pris le temps de relire ce document !

Je souhaite également exprimer mes sincères remerciements à Isabelle et Clara qui participent également à mon bonheur quotidien au LESCOT ! Isabelle, je suis fière d'avoir été ton encadrante et je te souhaite de belles choses pour ton avenir professionnel : je ne doute pas que nous aurons d'autres occasions de travailler ensemble dans le futur. J'en profite également pour remercier Clara, actuellement en thèse. C'est un plaisir de t'encadrer et j'espère que malgré mon absence de ces prochains mois, tu n'hésiteras pas à me solliciter au besoin (;)).

Mes remerciements vont également à tous les professionnels de santé avec lesquels je travaille (Marie-France Boyer, Maxime Cheminon, Pauline Coignard, Teodor Danaila, Floriane Delphin-Combe, Marion Giroux, Jean-Luc Le Guet, Jacques Luauté, Cécile Sabourdy, Stéphane Thobois). Je remercie plus largement toutes les personnes qui se sont fortement impliquées dans les projets à différents niveaux, au centre Mutualise de Kerpape, à l'Hôpital Henry Gabrielle, l'Hôpital Neurologique et à l'Hôpital des Charpennes. Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont été impliquées dans le montage du projet ANR, plus particulièrement Teodor Danaila, Elise Metereau et Caroline Pigeon. Nous en avons passé du temps à structurer le projet ! c'était tellement riche cette expérience... J'espère que notre projet aboutira car je suis convaincue de l'utilité de cette recherche pour les personnes, notamment celles présentant une maladie de Parkinson.

Je tiens à remercier mes partenaires académiques : Véronique Delcroix, Hannes Devos, Julia Greenfield, Stéphane Perrey. Nous avons réalisé de beaux projets de recherche. Je reste convaincue que nous poursuivrons nos collaborations.

Un merci particulier à Hannes Devos qui a été mon « mentor » quand j'étais en post doctorat et qui m'a également beaucoup appris. Hannes, I've learned a lot with you. Thank you for being you !! and I hope we'll have several opportunities in the future to see each other and collaborate on exciting research!!

Je tiens également à remercier toutes les personnes volontaires qui participent à la recherche. Sans elles, je ne pourrai pas travailler.

J'espère que ce document permettra de faire mieux connaître une partie des recherches et spécificités de mon laboratoire, le LESCOT. Grâce au LESCOT, j'ai rencontré et je rencontre toujours des gens formidables. Je ne citerai pas toutes les personnes qui ont joué et jouent encore un rôle important dans ma vie mais elles se reconnaîtront... Pour cela : merci aux anciens et nouveaux collègues du laboratoire. Merci pour nos moments de partage : Clara, Isa, Laurence,

Caro, Myriam, Alexandra, Christophe, Fabien, Daniel, Bertrand, Bruno, Galina, Florence, Théo, Yannick, Hélène, Thierry, Nathalie, Evan, Erika, Joceline !

Je remercie plus largement tous mes collègues des autres services ou laboratoires de l'Université Gustave Eiffel avec lesquels j'ai l'occasion d'échanger ou de travailler : Michel Behr, Roland Brémond, Anaïs Chetail, Cécile Coquelet, Cyrille Gonon, Hervé Heyraud, Maxime Llari, Sylviane Lafont, Céline Parraud, Didier Pillot, Helen Tardy etc...

N'oublions pas mes ami.e.s de longues dates : Isabelle A., Aurélien, Sébastien, Pierre-Philippe, Arnauld, Helen, leurs conjoint.es, enfants et futurs enfants. Votre amitié depuis plus de 20 ans est précieuse !

Je dédie ce document à mes parents et à mon frère Vivien qui ont toujours manifesté leur soutien inconditionnel.

A ma petite famille : Je remercie Guillaume, qui me soutient tous les jours et qui est un papa formidable. Merci d'être à mes côtés et d'avoir relu ma partie « remerciements » ;). Bien qu'ils soient encore trop petits pour lire ce document, je remercie Axel et son futur petit frère qui participent grandement à l'équilibre de la personne qui se présente devant vous aujourd'hui.

Table des matières

Liste des Figures	1
Résumé	3
Abstract	5
Préambule	7
Introduction	9
Chapitre 1. Effet du vieillissement normal et pathologique sur les fonctions cognitives	13
1. Changements cognitifs et modifications cérébrales	13
1.1 Au cours du vieillissement	13
1.2 Avec l'apparition de troubles neurocognitifs	13
1.2.1 Définition	13
1.2.2 Maladie de Parkinson.....	14
2. La neuroplasticité	16
2.1 Définition	16
2.2 Evaluation de la neuroplasticité.....	17
2.2.1 Brève description des différentes techniques d'imagerie cérébrale	17
2.2.2 Modifications cérébrales fonctionnelles liées à l'âge.....	19
2.3 Modèles du vieillissement neurocognitif.....	21
2.3.1 Modèle HAROLD.....	21
2.3.2 Modèle STAC	22
2.3.3 Modèle CRUNCH.....	24
Chapitre 2. Effet du vieillissement et/ou de la pathologie sur la conduite automobile	29
1. Modèles de la conduite automobile	30
1.1 Modèle de Michon (1985).....	30
1.2 Modèle d'Anstey et al. (2005).....	32
1.3 Modèle de Lindstrom-Forneri et al. (2010).....	33
2. Législation concernant l'aptitude à la conduite	35
2.1 Aux Etats-Unis	35
2.2 En Europe	35
2.2.1 Cas de la France	36
3. Evaluation de l'aptitude à la conduite automobile	38
3.1 Aptitude à la conduite des personnes présentant une affection médicale	39
3.1.1 Risque de conduite dangereuse selon le type d'affection médicale	39
3.2 Evaluation de l'aptitude à la conduite	43

3.2.1 Les tests neuropsychologiques	43
3.2.2 Le simulateur de conduite	44
3.2.3 La mise en situation sur route	44
4. Maladie de Parkinson et conduite automobile	45
4.1 Accidentologie.....	45
4.2 Arrêt de la conduite	45
4.3 Comportement du conducteur atteint de la maladie de Parkinson.....	46
4.3.1 Rôle des fonctions exécutives dans la conduite automobile	47
4.3.2 La charge cognitive dans la maladie de Parkinson.....	49
Chapitre 3. Effet du vieillissement et de la pathologie sur la marche.....	53
1. La marche chez la personne âgée.....	53
1.1 Aires cérébrales impliquées pendant la marche.....	54
1.2 Rôle du cortex préfrontal.....	55
2. La marche chez les personnes présentant une maladie de Parkinson.....	60
2.1 Aires cérébrales impliquées dans la marche	60
2.2 Rôle du cortex préfrontal.....	61
2.3 Comment améliorer la marche et la cognition dans la maladie de Parkinson ?.....	61
2.3.1 Apport des programmes d'entraînement pour la réadaptation de la marche dans la maladie de Parkinson	62
2.3.2 Effets de différents programmes d'entraînement sur l'activité cérébrale et la marche dans la maladie de Parkinson.....	63
Chapitre 4. Perspectives de recherche	69
1. Evaluation de l'aptitude à la conduite et accompagnement des personnes présentant une pathologie neurologique.....	69
1.1 Aptitude à la conduite automobile.....	69
1.2 Evaluation de l'aptitude à la conduite	72
1.2.1 Conduite chez les personnes présentant des troubles neurocognitifs	73
1.2.2 Conduite des personnes présentant une épilepsie.....	75
1.2.3 Conduite des personnes présentant une schizophrénie.....	77
1.3 Accompagnement des personnes dans le maintien de leur mobilité.....	78
1.3.1 Régulation de la conduite pour les personnes présentant des troubles neurocognitifs	78
1.3.2 Reprise de la conduite des personnes ayant eu un accident vasculaire cérébral.....	80
2. Evolution de l'évaluation de l'aptitude à la conduite.....	81
3. L'activité de marche et la compréhension des mécanismes cérébraux impliqués dans cette activité.....	84
3.1 Etude de l'activité cérébrale dans différentes régions pendant la marche	85

3.2 Effet du programme SIROCCO sur la neuroplasticité dans la maladie de Parkinson	85
<i>Conclusion</i>	87
<i>Références</i>	89
<i>Curriculum vitae détaillé</i>	109

Liste des Figures

Figure 1 : La mobilité locale un jour de semaine selon l'âge en 2019.....	9
Figure 2. Pattern d'activation typique en fNIRS.....	19
Figure 3. Activité au niveau du cortex préfrontal droit et gauche chez les personnes jeunes et âgées pendant des tâches de mémoire de travail spatial et verbal.....	21
Figure 4. Modèle conceptuel de la théorie de l'échafaudage du vieillissement et de la cognition – Modèle STAC-r.....	24
Figure 5. Illustration de l'utilisation des circuits neuronaux chez les personnes jeunes et les personnes âgées.....	26
Figure 6. Illustration du modèle de Michon (1985) et fonctions cognitives impliquées.....	31
Figure 7. Modèle schématique des facteurs permettant le comportement de conduite sécuritaire.....	32
Figure 8. La conduite en tant que modèle de compétence quotidienne.....	34
Figure 9. Pourcentage de conduite dangereuse en fonction du type d'affection médicale.....	41
Figure 10. Vue d'ensemble de l'activation corticale enregistrée à partir de la fNIRS et l'EEG pendant les tâches de marche et d'équilibre chez les personnes âgées et la maladie de Parkinson.....	55
Figure 11. Illustration des résultats actuels concernant les effets du vieillissement sur l'activité du cortex préfrontal pendant la marche, les fonctions exécutives, et la performance de marche.....	56
Figure 12. Changements globaux en hémoglobine oxygénée (ΔHbO_2) pour chaque hémisphère et pour chaque groupe.....	58
Figure 13. ΔHbO_2 moyen pour chaque groupe et chaque hémisphère pour chaque tâche de marche.....	59
Figure 14 : A) Réponse hémodynamique du cortex préfrontal dorsolatéral à un stimulus (à 0 : démarrage de la condition marche) pour chaque session (t0, t1, et t2) et B) Changements relatifs moyens en HbO_2 et HbR pour le cortex préfrontal dorsolatéral pendant la tâche de marche simple pour chaque session.....	66
Figure 15 : Modèle de Lindstrom-Forneri et al. traduit en français.....	72
Figure 16. Simulateur de conduite installé à l'hôpital des Charpennes.....	73
Figure 17 : Schéma récapitulatif des différents ateliers du programme ACCOMPAGNE.....	79

Résumé

Le vieillissement croissant de la population et l'allongement de l'espérance de vie s'accompagnent d'une augmentation du nombre de personnes âgées présentant des maladies neuro-évolutives. Les déclinés cognitifs, moteurs, sensoriels qui apparaissent de manière progressive et plus ou moins prononcée avec l'âge et/ou la pathologie peuvent avoir des répercussions sur la mobilité en général, réduisant de manière significative l'autonomie et la qualité de vie. Il est donc important de mieux comprendre ces modifications pour savoir comment elles se traduisent au niveau du comportement des individus et les conséquences qu'elles ont sur leur mobilité.

Ce mémoire d'habilitation à diriger des recherches présente les travaux que j'ai pu mener durant ces 15 dernières années dans le domaine de la conduite automobile et de la marche dans le contexte du vieillissement normal et/ou avec la survenue d'une pathologie neurologique. Ce document comprend 4 chapitres. Dans le premier chapitre, je présente les effets du vieillissement normal et pathologique sur la cognition, en me focalisant sur les fonctions cognitives altérées mais aussi sur les modifications fonctionnelles et structurelles cérébrales qui peuvent apparaître avec l'âge et une pathologie neuro-évolutive. Les mécanismes de neuroplasticité, c'est-à-dire les phénomènes de réorganisation cérébrale potentiellement adaptatifs sont décrits à travers les différents modèles neurophysiologiques du vieillissement. Le deuxième chapitre est consacré à une synthèse de mes recherches dans le domaine de la conduite automobile des personnes âgées et/ou avec une pathologie neurologique. Je décris les modèles de la conduite sur lesquels je me suis basée ainsi que les aspects législatifs relatifs à l'aptitude à la conduite des personnes présentant une affection médicale. Je présente ensuite mes travaux sur l'évaluation de l'aptitude à la conduite. Je consacre la dernière partie de ce chapitre sur mes travaux dans la maladie de Parkinson et la conduite automobile. Le troisième chapitre introduit mes travaux de recherche sur la thématique de la marche que j'ai développé plus récemment. J'aborde cette thématique en utilisant une approche complémentaire à celle que j'avais jusqu'alors employée en mesurant l'activité corticale pendant une tâche de marche dans le contexte du vieillissement normal et de la maladie de Parkinson. Le dernier chapitre présente mes perspectives de recherches autour des problématiques d'évaluation et d'accompagnement de la personne vis-à-vis de la conduite, et de la compréhension des mécanismes cérébraux impliqués dans l'activité de marche. Ces travaux portent majoritairement sur des personnes âgées et/ou présentant une pathologie neurologique.

Les recherches que je réalise comportent des enjeux forts en termes de santé publique, de mobilité et de sécurité routière. De manière générale, ces travaux contribuent à une meilleure compréhension des mécanismes cognitifs et/ou cérébraux impliqués dans les situations de déplacement. D'un point de vue clinique, les résultats de mes recherches visent à proposer des solutions, tels que des outils, ou des méthodes d'évaluation ou d'accompagnement pour maintenir une mobilité adaptée le plus longtemps possible.

Abstract

With the population aging and increasing life expectancy, the number of elderly people with neurodegenerative diseases is growing. The cognitive, motor, and sensory declines that appear with age and/or pathology can have negative impacts on mobility in general, significantly reducing autonomy and quality of life. It is therefore important to better understand these changes to know how they translate into individuals' behavior and their consequences on their mobility.

This document describes research I've done over the last 15 years in the field of driving and walking in the context of normal aging and/or with the onset of neurological pathology. This document includes 4 chapters. In the first chapter, I present the effects of normal and pathological aging on cognition, focusing on impaired cognitive functions but also on functional and structural brain changes that can occur with age and neurodegenerative diseases. The mechanisms of neuroplasticity, i.e. the potentially adaptive brain reorganization phenomena, are described through the different neurophysiological models of aging. The second chapter summarizes my research in the field of driving of elderly people and/or people with a neurological disease. I describe the models of driving as well as the legislative aspects related to the driving ability of people with a medical condition. Then, I discuss my work on fitness-to-drive assessment. The last part of this chapter is about my research on Parkinson's disease and driving. The third chapter introduces walking studies that I have more recently developed. I address this theme by measuring cortical activity during a walking task in the context of normal aging and Parkinson's disease. The last chapter outlines my research perspectives around the problems of assessment and support of the person concerning driving and the understanding of the brain mechanisms involved in walking activity. This work is mainly focused on elderly people and/or people with neurological diseases.

The research that I conduct has strong impacts in terms of public health, mobility, and road safety. In general, this work contributes to a better understanding of the cognitive and/or cerebral mechanisms involved in travel situations. From a clinical point of view, the results of my research aim at proposing solutions, such as tools, or methods of assessments or accompaniment to maintain an adapted mobility as long as possible.

Préambule

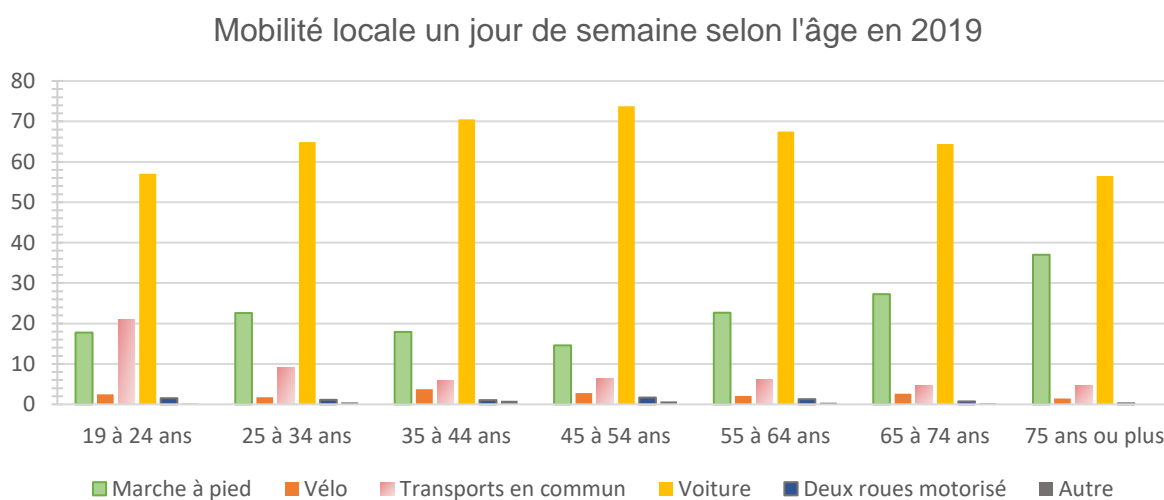
Ce mémoire d'habilitation à diriger des recherches présente les travaux menés ces 15 dernières années, depuis le début de ma thèse en septembre 2008 jusqu'à maintenant. J'ai commencé à étudier, pendant ma thèse, l'influence des fonctions cognitives, notamment des fonctions exécutives sur la conduite automobile dans la maladie de Parkinson. L'approche principalement utilisée dans ce travail était de nature neuropsychologique. J'ai ensuite été recrutée au laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations (LEPSIS, nouvellement PICS-L) pour travailler sur la perception des usagers vulnérables par les automobilistes (2012-2014). Par la suite, j'ai bénéficié d'une mise en disponibilité de deux ans (Août 2014 à Août 2016) pour réaliser un post-doctorat au « Simulator lab », à Augusta aux Etats-Unis dans l'optique de poursuivre mes travaux sur la maladie de Parkinson et la conduite automobile et d'élargir mon champ de recherche à d'autres pathologies médicales. Pendant cette période de post-doctorat, je me suis intéressée aux mesures neurophysiologiques pour étudier la charge cognitive dans le vieillissement normal et pathologique. J'ai travaillé notamment sur l'étude de la charge cognitive des conducteurs présentant une maladie de Parkinson. J'ai également participé à des recherches expérimentales et des études rétrospectives sur les questions d'évaluation de l'aptitude à la conduite, menées sur d'autres pathologies neurologiques (sclérose en plaques, commotion cérébrale, accident vasculaire cérébral...) ou visuelles (glaucome). En Septembre 2016, j'ai intégré le laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives appliquées aux Transports (LESCOT), à Lyon pour poursuivre et développer de nouvelles recherches sur la mobilité des personnes âgées et/ou présentant une pathologie neurologique.

Afin de mieux comprendre le comportement humain en situation de déplacement, il me semble important de comprendre à la fois les fonctions cognitives mises en jeu pendant une activité et également les mécanismes cérébraux sous-jacents à ces fonctions cognitives. Aujourd'hui, mes thématiques scientifiques portent principalement sur 1) l'aptitude à la conduite automobile et l'accompagnement des personnes dans le maintien de leur mobilité et sur 2) l'activité de marche et la compréhension des mécanismes cérébraux impliqués dans cette activité. Ces travaux portent majoritairement sur des personnes âgées et/ou présentant une pathologie neurologique.

Introduction

En raison de l'augmentation de l'espérance de vie, on estime que d'ici 2050, il y aura plus de 2 milliards d'individus âgés de plus de 60 ans (World Health Organization, 2020). Cela représentera près d'un cinquième de la population mondiale. Par conséquent, le nombre de personnes âgées présentant une maladie neuro-évolutive conduisant à une démence, aujourd'hui estimé à 50 millions de personnes, devrait doubler d'ici 2030 et tripler d'ici 2050 (Organisation Mondiale de la Santé, 2022). L'avancée en âge ou/et la survenue d'une pathologie neuro-évolutive s'accompagne de changements cognitifs, moteurs et sensoriels plus ou moins importants. Ces changements peuvent avoir des répercussions sur les activités de la vie quotidienne et la mobilité en général.

La mobilité est un facteur essentiel au maintien de l'autonomie. Parmi les différentes formes de mobilité, je m'intéresse plus particulièrement à l'activité de conduite automobile et l'activité de marche. La figure 1 montre que la voiture et la marche sont deux modes de mobilité largement utilisés par les individus, quel que soit leur âge (Données et études statistiques, 2019).



La mobilité locale est définie par les déplacements qui amènent à moins de 80 km à vol d'oiseau du domicile. Cette enquête a été réalisée en amont de l'épidémie de Covid-19.

Figure 1 : La mobilité locale un jour de semaine selon l'âge en 2019

Source : SDES, Insee – Enquête Mobilité des Personnes 2018-2019

Pour les personnes âgées, l'utilisation de l'automobile assure une autonomie effective et la possibilité de maintenir un bon niveau de participation sociale, particulièrement dans les zones périurbaines et rurales. Des travaux soulignent l'importance de cette activité dans le

vieillesse réussie (Rowe & Kahn, 1997). En effet, l'activité de conduite aurait des effets bénéfiques sur la santé physique et cognitive de l'individu (Gagnon, 2010). Ainsi, la conduite est de plus en plus perçue comme une opportunité d'adaptation des personnes vieillissantes qui contribue au maintien des capacités de l'individu (Gagnon, 2010). A contrario, son arrêt peut avoir des conséquences néfastes sur la qualité de vie de l'individu. Certaines études montrent que les personnes ayant arrêté de conduire ont des symptômes dépressifs plus importants et sont plus isolées socialement (Chihuri et al., 2016; Fonda et al., 2001; Liddle et al., 2014, 2015). Il est important également de s'intéresser aux autres modes de mobilité. Les troubles de la marche et de l'équilibre sont plus fréquents chez les personnes âgées et davantage prononcés chez les personnes présentant une maladie neuro-évolutive, comme la maladie de Parkinson par exemple. Ces troubles peuvent être à l'origine des chutes qui ont des conséquences importantes sur l'autonomie et la qualité de vie.

Dans mes travaux, il s'agit de mieux comprendre les fonctions cognitives altérées par le vieillissement ou la survenue d'une pathologie neuro-évolutive et leurs répercussions sur la mobilité et notamment sur le comportement de conduite et de marche. Ces recherches permettent de répondre en partie aux questions d'évaluation de l'aptitude à la conduite, notamment chez les personnes présentant une maladie neuro-évolutive : quelles sont les fonctions cognitives à évaluer ? Comment observer le comportement en conduite automobile ? Je m'intéresse également à mieux comprendre les troubles de marche et les mécanismes cérébraux sous-jacents à cette activité. Dans une perspective à long terme, ces travaux ont pour objectif large de permettre aux personnes le maintien d'une mobilité adaptée le plus longtemps possible, dans la mesure où leurs capacités cognitives, motrices et sensorielles le leur permettent. Ces travaux répondent à des enjeux majeurs de sécurité routière, de mobilité et de santé publique.

Le Chapitre 1 présente les effets du vieillissement normal ou pathologique sur la cognition. Les recherches que j'ai menées jusqu'à ce jour s'intéressent principalement aux personnes âgées présentant un vieillissement normal et à celles diagnostiquées avec la maladie de Parkinson. Les travaux actuels mettent en évidence que le fonctionnement cognitif au cours du vieillissement est marqué par des mécanismes de réorganisation cérébrale potentiellement adaptatifs (Reuter-Lorenz & Park, 2010). Ceci témoigne de l'existence de mécanismes de neuroplasticité au cours du vieillissement. Les phénomènes de neuroplasticité, et notamment les modifications cérébrales fonctionnelles survenant au cours du vieillissement normal ou

pathologique sont présentés. Les principaux modèles intégratifs du vieillissement sont également décrits.

Les répercussions que les déficits cognitifs liés au vieillissement et/ou à une pathologie ont sur la mobilité sont traitées dans les Chapitres 2 et 3. Le Chapitre 2 expose mes travaux sur la conduite automobile menés dans différentes populations (personnes âgées ou personnes présentant une pathologie neurologique). Tout d'abord, je décris les principaux modèles de conduite automobile que j'ai utilisé pour comprendre le comportement de conduite. Ensuite, je traite des questions d'évaluation de l'aptitude à la conduite pour les personnes présentant des affections médicales en présentant la législation et les travaux que j'ai réalisés sur cette problématique. Finalement, je présente mes recherches menées sur la maladie de Parkinson et la conduite automobile. Le Chapitre 3 porte sur la nouvelle thématique que je développe depuis mon retour au LESCOT, en collaboration avec Laurence Paire-Ficout : la marche dans le vieillissement normal et pathologique. Nos travaux sur la mesure de l'activité corticale pendant la marche sont décrits.

Le Chapitre 4 concerne les perspectives de recherche que je souhaite mener ces prochaines années, visant toujours à mieux comprendre, à différents niveaux (i.e. cognitif et cérébral), le comportement des personnes âgées et/ou présentant une pathologie neurologique en situation de déplacement.

Chapitre 1. Effet du vieillissement normal et pathologique sur les fonctions cognitives

1. Changements cognitifs et modifications cérébrales

Le vieillissement est un processus physiologique qui correspond à un déclin qui altère les capacités fonctionnelles de l'individu et ses possibilités d'adaptation face à un évènement aigu auquel il est confronté.

1.1 Au cours du vieillissement

Le vieillissement s'accompagne du déclin de certaines fonctions cognitives comme la vitesse de traitement de l'information (Salthouse, 1996), la mémoire épisodique (Hertzog et al., 2003), la mémoire de travail (Salthouse & Babcock, 1991), le raisonnement et les fonctions exécutives (West, 1996) ou encore les habiletés visuospatiales. Avec les techniques d'imagerie, il a aussi été montré que le volume cérébral, la substance blanche ou encore le réseau dopaminergique sont modifiés par le vieillissement. Les altérations cérébrales se font selon un gradient antérieur/postérieur (Raz & Rodrigue, 2006; Salat et al., 2004). En effet, selon Raz et Rodrigue (2006), le cortex préfrontal subit plus précocement et de façon plus marquée les effets du vieillissement ($r = -0.56$) que les autres régions cérébrales. Les lobes temporaux semblent également affectés ($r = -0.37$) alors que les régions pariétales et occipitales présentent une atrophie moins prononcée. L'avancée en âge s'accompagne également d'altérations au niveau de la substance blanche, en particulier au niveau des régions frontales qui ont été associées à une faible performance dans les tâches de vitesse de traitement, de fonctions exécutives et de mémoire (Salthouse, 1996).

Le vieillissement est donc un processus complexe qui peut être influencé par nos habitudes de vie et par la survenue de maladies chroniques, comme l'apparition des troubles neurocognitifs.

1.2 Avec l'apparition de troubles neurocognitifs

1.2.1 Définition

Selon le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-V), les troubles neurocognitifs constituent un syndrome défini par une réduction acquise, significative et évolutive d'une ou plusieurs fonctions cognitives qui n'est pas expliquée par un état confusionnel, une dépression ou des troubles psychotiques, souvent associé à un changement de comportement ou de personnalité. Le concept de troubles neurocognitifs mineurs désigne un

déclin cognitif dont les capacités préservées de la personne âgée lui permettent de maintenir son autonomie dans les activités de la vie quotidienne (HAS, 2018). Lors du diagnostic, le médecin évalue l'impact fonctionnel sur la réalisation ou non des activités quotidiennes, la perception et le vécu des troubles par le patient. Les troubles neurocognitifs sont caractérisés de majeurs lorsqu'ils impactent la réalisation des activités de la vie quotidienne comme la gestion des traitements ou l'utilisation des transports (HAS, 2018). Dans le cas de troubles neurocognitifs dit majeurs, la perte d'autonomie est constatée. Par exemple, la maladie de Parkinson est une des maladies neuro-évolutives se manifestant par des troubles neurocognitifs.

1.2.2 Maladie de Parkinson

La maladie de Parkinson est une maladie neuro-évolutive qui se caractérise par une perte progressive de neurones dopaminergiques situés au niveau des ganglions de la base (pars compacta de la substance noire) et se projettent au niveau du striatum. La déplétion dopaminergique est initialement plus importante dans la partie dorso-latérale du striatum, ce qui conduit à une perte précoce et préférentielle de la commande motrice automatique. Elle se situe au deuxième rang des maladies neuro-évolutives après la maladie d'Alzheimer. C'est la maladie dont le nombre de cas a le plus augmenté entre 1990 et 2015 : il a plus que doublé (GBD 2015 Neurological Disorders Collaborator Group, 2017). Au niveau mondial, le nombre de personnes avec la maladie de Parkinson devrait encore doubler d'ici 2040, atteignant 12 millions de personnes (Dorsey et al., 2018). En France, on estime que le nombre de patients oscille entre 150 000 et 200 000. La maladie touche environ 1% des sujets âgés de plus de 65 ans et 2% des sujets âgés de plus de 85 ans. La forme principale de la maladie de Parkinson, encore appelée idiopathique, débute habituellement entre 40 et 70 ans (Jankovic, 2008). L'âge moyen de début est compris entre 55 et 60 ans. Il existe cependant des formes juvéniles qui peuvent apparaître à partir de l'âge de 30 ans (début avant 50 ans dans 10% des cas) et des formes plus tardives après 70 ans (15% des patients).

La maladie de Parkinson idiopathique est caractérisée par une triade de symptômes moteurs : 1) l'akinésie (difficulté d'initiation du mouvement) et/ou la bradykinésie (lenteur des mouvements) et/ou l'hypokinésie (pauvreté du mouvement) ; 2) l'hypertonie extrapyramidale et 3) le tremblement de repos, qui peut disparaître lors de mouvements volontaires. Bien que cette maladie se caractérise majoritairement par ces troubles moteurs, les troubles cognitifs peuvent apparaître dès les stades débutants. Après plusieurs années d'évolution, l'état cognitif du patient parkinsonien peut progressivement s'aggraver et conduire à une démence.

Généralement, cette dernière se développe plus de 10 ans après l'apparition de la maladie (Aarsland, et al., 2004). Des études de prévalence de la démence associée à la maladie de Parkinson ont permis d'établir que 25 à 30% des patients parkinsoniens étaient déments, ce qui représente six fois plus que dans la population générale (Kulisevsky, 2009). La démence est souvent prédite par un âge plus avancé, une grande sévérité des symptômes moteurs (comme par exemple des troubles de la marche et de la posture), un dysfonctionnement exécutif et une fluence verbale pauvre (Aarsland, et al., 2004; Williams-Gray, Foltynie, Brayne, Robbins, & Barker, 2007).

Les troubles cognitifs

En dehors de toute détérioration globale, les patients atteints de la maladie de Parkinson peuvent présenter des déficits cognitifs spécifiques, dès les stades précoces de la maladie (Riepe, Kassubek, Tracik, & Ebersbach, 2006). Une étude montre que les déficits cognitifs les plus fréquents dès les stades débutants de la maladie concernent l'attention et des fonctions exécutives (100 %), la vitesse psychomotrice (environ 60 %), les capacités visuo-spatiales (environ 48 %) puis la mémoire (*i.e.* mémoire immédiate et rappel différé) (44 % environ) (Muslimovic et al., 2005). Les déficits les moins fréquents sont observés dans le domaine du langage (22 %). Ces déficits sont plus marqués au cours de la progression de la maladie. Au début de la maladie, la prévalence des troubles cognitifs est relativement méconnue : elle est estimée entre 24 et 36 % chez les patients de novo (ceux qui viennent d'être diagnostiqués) et toucherait jusqu'à 50 % des patients dans les cinq premières années d'évolution (Dujardin & Defebvre, 2007). Il a été montré que les patients les plus diminués d'un point de vue cognitif ont des âges plus avancés, une survenue tardive de la maladie, sont à des stades plus sévères de la maladie, ont un score plus élevé de dépression, des symptômes axiaux sévères et présentent une dysarthrie (*i.e.* un trouble de la parole) (Muslimovic, *et al.*, 2005). Ces facteurs prédisent également un déclin cognitif plus rapide (Aarsland, *et al.*, 2004).

Troubles des fonctions exécutives

Le dysfonctionnement exécutif est au cœur des troubles cognitifs associés à la maladie de Parkinson, pouvant apparaître dès les stades débutants (Dubois & Pillon, 1997; Dujardin & Defebvre, 2007; Green, *et al.*, 2002; Weintraub, *et al.*, 2005). Il a souvent été décrit comme un composant clinique clé de la démence dans la maladie de Parkinson (Dubois & Pillon, 1997). Comme présenté dans ma thèse (Ranchet, 2011), les personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson peuvent présenter un défaut de planification de l'action (Muslimovic et al., 2005). Il a également été rapporté que les patients parkinsoniens pouvaient avoir des difficultés à

mettre à jour des représentations verbales ou visuo-spatiales (Cronin-Golomb, *et al.*, 1994; Kensinger, *et al.*, 2003; Postle, Locascio, Corkin, & Growdon, 1997b). Ils peuvent également présenter un déficit de flexibilité, c'est-à-dire une difficulté à alterner entre plusieurs tâches (Cools *et al.*, 2001) et un déficit d'inhibition, c'est-à-dire une difficulté à inhiber une réponse automatique, qui peuvent apparaître dès les stades débutants de la maladie (Dujardin & Defebvre, 2008).

En résumé, les troubles cognitifs s'expriment de différentes manières et à différents niveaux chez les patients parkinsoniens et ce dès les premiers stades de la maladie. Quelques auteurs insistent sur le fait que les déficits s'expriment d'autant plus que la tâche devient exigeante du point de vue cognitif (Brown & Marsden, 1990). Nous verrons plus tard que ces déficits peuvent avoir un impact sur certaines activités de la vie quotidienne, comme l'activité de conduite ou la marche à pied.

Le vieillissement, qu'il soit normal ou pathologique, se caractérise par des altérations cognitives et cérébrales. Pour autant, de plus en plus de travaux montrent que le cerveau âgé présente un potentiel de plasticité lui permettant de réagir aux déficits liés au vieillissement.

2. La neuroplasticité

2.1 Définition

La neuroplasticité (ou plasticité cérébrale et neuronale) décrit les mécanismes par lesquels le cerveau est capable de se modifier lors des processus de neurogénèse dès la phase embryonnaire ou lors d'apprentissage. Elle s'exprime par la capacité du cerveau à modifier sa structure, à créer, défaire, ou réorganiser des réseaux de neurones et les connexions de ces neurones. Ce phénomène persiste tout au long de la vie. Au moment de la vie adulte, la plasticité cérébrale aura entre autre pour fonction de permettre à l'individu d'adapter son comportement en fonction de l'environnement et de l'expérience (Trojak, 2012). La neuroplasticité a également une fonction adaptative en cas d'altération du système nerveux, comme c'est le cas dans le vieillissement ou l'apparition de maladies neurologiques ou neuro-évolutives. De plus, cette neuroplasticité peut également s'observer suite à des programmes de réadaptation ou d'entraînements basés sur de l'exercice physique et/ou cognitif. Par exemple, dans la maladie de Parkinson, plusieurs études démontrent les bénéfices de l'exercice, notamment de type aérobie sur les fonctions cognitives et les symptômes moteurs chez des personnes à des stades légers à modérés de la maladie (H. Johansson *et al.*, 2020; M. E. Johansson *et al.*, 2022;

Petzinger et al., 2013). Néanmoins, la nature des changements cérébraux survenant suite à ce type d'exercices est encore mal connue.

2.2 Evaluation de la neuroplasticité

La neuroplasticité peut être évaluée par différentes techniques, telles que les techniques d'imagerie cérébrale, le prélèvement sanguin ou le liquide céphalo-rachidien. Je m'intéresse tout particulièrement aux techniques d'imagerie cérébrale pour étudier les mécanismes cérébraux.

2.2.1 Brève description des différentes techniques d'imagerie cérébrale

Parmi les techniques d'imagerie cérébrale, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), la tomographie par émissions de positons (TEP ou *PET-scan* en anglais), l'électroencéphalogramme (EEG), et la spectroscopie proche infrarouge fonctionnelle (fNIRS) permettent d'étudier les mécanismes cérébraux, chacune présentant leurs avantages et inconvénients.

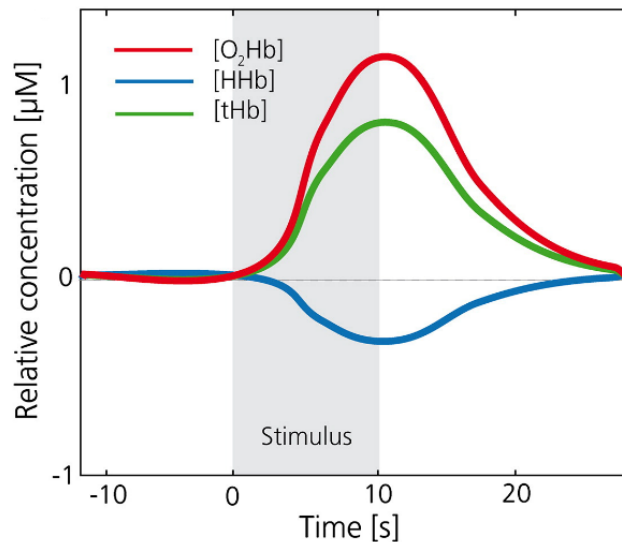
Toute activation neuronale s'accompagne d'une augmentation locale du flux sanguin afin de couvrir les besoins métaboliques liés à cette activation. Le principe de l'IRMf repose sur le fait que, lors de l'activation d'une région cérébrale, il y a une augmentation localisée de la concentration d'hémoglobine oxygénée. C'est une technique d'imagerie non invasive qui consiste à enregistrer les variations hémodynamiques cérébrales lorsque les zones sont stimulées. Ces variations vont entraîner l'apparition d'un signal magnétique mesurable (signal BOLD : *blood oxygen level dependent*). L'avantage de cette technique est qu'elle permet d'étudier l'activation de régions cérébrales profondes. Elle a également une bonne résolution spatiale (environ 2 à 4 mm) et temporelle (environ 2 secondes). L'IRMf a pour inconvénients d'être sensible aux artefacts de mouvements et de mettre la personne en position allongée. L'analyse est effectuée lors de tâches motrices simples réalisées dans la machine ou bien en imagerie motrice, c'est-à-dire en imaginant la tâche motrice. De plus, cette technique est relativement coûteuse.

La TEP a les mêmes limites avec un coût de réalisation encore supérieur et un caractère irradiant. Le principe est d'injecter dans l'organisme un traceur, une toute petite quantité de substance radioactive sans danger pour l'organisme, puis, une heure après, de prendre des images de l'organe étudié. Le traceur peut être du fluorodeoxyglucose qui permet de refléter l'activité neuronale, ou de la dopa qui reflète la synthèse de la dopamine. L'imageur IRM-TEP

permet l'imagerie combinée et simultanée IRM et TEP, ce qui permet d'avoir une imagerie anatomique et fonctionnelle simultanée du vivant grâce à la combinaison innovante de 2 modalités d'imagerie complémentaires.

L'EEG peut pour sa part être utilisé plus facilement que la TEP ou l'IRM qui nécessite d'être en position allongée. Cette technique consiste à recueillir l'activité électrique cérébrale au moyen d'électrodes placées sur le cuir chevelu. Cependant, elle reste sensible aux bruits environnants et aux artefacts de mouvement. Elle est peu sensible aux sources profondes, du fait de l'atténuation importante des signaux électriques mais présente l'avantage d'avoir une bonne résolution temporelle.

Pour mesurer l'activité cérébrale au niveau des régions corticales pendant une tâche de marche ou pendant la conduite automobile, la fNIRS est une technique particulièrement intéressante. C'est une technique d'imagerie non invasive qui présente l'avantage d'être portable, avec une moindre sensibilité au bruit et artefacts de mouvement par rapport à l'EEG et à un coût modéré. La fNIRS se base sur le principe que les matériaux ont des indices d'absorption à la lumière différents. L'hémoglobine va absorber différemment la lumière proche infrarouge selon qu'elle transporte de l'oxygène ou non. Elle mesure les variations de concentration en hémoglobine oxygénée (HbO₂) et désoxygénée (HbR) ; une augmentation de l'HbO₂ et une diminution de l'HbR sont le reflet de l'activité neuronale augmentée dans la zone étudiée (figure 2).



O₂Hb représente la concentration en oxyhémoglobine. *HHb* représente la concentration en déoxyhémoglobine. *THb* représente la concentration en hémoglobine totale.

Figure 2. Pattern d'activation typique en fNIRS

Source : figure tirée de Scholkmann et al. (2014)

Dans le cadre de mes recherches, je m'intéresse aux phénomènes de neuroplasticité qui peuvent survenir chez les personnes âgées et/ou dans le cas de pathologies neuro-évolutives comme la maladie de Parkinson. Ils peuvent être reflétés par des mécanismes de compensation cérébrale, c'est-à-dire à l'utilisation de réseaux cérébraux alternatifs. Ces phénomènes de neuroplasticité peuvent être expliqués par différents modèles théoriques présentés ci-dessous. Ces modèles nous ont permis d'expliquer certains de nos résultats concernant les changements de l'activité corticale pendant la marche au cours du vieillissement et de la maladie de Parkinson.

2.2.2 Modifications cérébrales fonctionnelles liées à l'âge

La plupart des études avec les techniques d'imagerie fonctionnelle montre trois types de *patterns* concernant l'activation cérébrale chez les personnes âgées en comparaison à celle des personnes jeunes : 1) les personnes âgées présentent une activité cérébrale équivalente à celle des personnes jeunes, 2) les personnes âgées présentent une diminution de l'activité cérébrale, ou 3) les personnes âgées présentent une augmentation de l'activité cérébrale.

Dans le cas où les personnes âgées présentent une activité cérébrale équivalente à celle des personnes jeunes, cela signifie que le fonctionnement cérébral est relativement préservé.

Néanmoins, la performance comportementale peut être plus réduite chez les personnes âgées par rapport à celle des personnes jeunes, ce qui indique une utilisation moins efficace des ressources neuronales.

Si les personnes âgées présentent une diminution de l'activité cérébrale par rapport aux personnes jeunes, cela suggère une diminution du niveau de fonctionnement cérébral, en particulier lorsque cela s'accompagne d'une baisse au niveau des performances comportementales. Par exemple, des réductions d'activation ont été observées chez des personnes âgées lors de la réalisation de tâches cognitives de mémoire épisodique, de mémoire de travail ou encore de contrôle exécutif (Spreng et al., 2010). Ces sous activations étaient le plus souvent associées à des performances cognitives déficitaires.

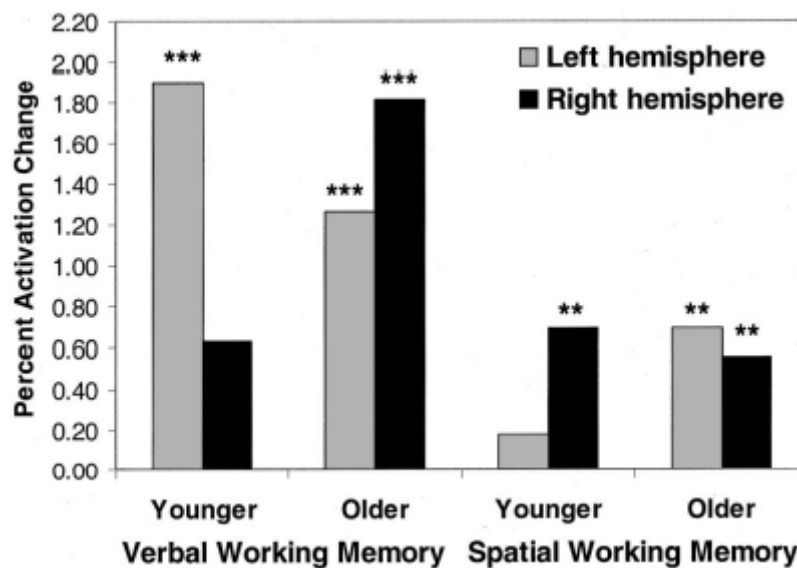
Le dernier *pattern* observé consiste en une augmentation de l'activité cérébrale des personnes âgées par rapport aux personnes jeunes. Cela peut être interprété de plusieurs façons : cette augmentation de l'activité cérébrale peut refléter un sur-recrutement des processus neuronaux, une dédifférenciation (i.e. une diminution de la spécialisation des régions cérébrales) ou encore une réduction de la spécificité de la réponse pendant une tâche. À performance égale, les personnes âgées peuvent présenter des activations cérébrales supplémentaires, soit dans les mêmes régions que les jeunes, soit dans des aires non recrutées par les plus jeunes (D. C. Park & Reuter-Lorenz, 2009). Dans ce type de *pattern*, les personnes âgées présentent une activation bilatérale plus grande dans des tâches qui sont très latéralisées chez les jeunes, notamment dans les tâches de mémoire épisodique, de mémoire de travail spatiale et verbale. Les activations supplémentaires chez les personnes âgées sont le plus souvent observées au niveau des régions préfrontales. Par exemple, de nombreuses études ont mis en évidence des activations supplémentaires chez les personnes âgées dans des régions préfrontales controlatérales aux sites classiquement activés chez les plus jeunes.

Plusieurs modèles du vieillissement neurocognitif permettent de comprendre les changements cognitifs liés à l'âge, notamment en prenant en compte les modifications cérébrales fonctionnelles apparaissant avec l'âge ou la survenue d'une pathologie. Les modèles HAROLD (*Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults*) (Cabeza, 2002), STAC et STAC-r (*Scaffolding Theory of Aging and Cognition - revisited*) (Reuter-Lorenz & Park, 2014), et CRUNCH (*Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis*) (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008) sont décrits dans le paragraphe ci-dessous.

2.3 Modèles du vieillissement neurocognitif

2.3.1 Modèle HAROLD

Le modèle HAROLD permet d'expliquer comment les personnes âgées recrutent des aires supplémentaires pour compenser au moins partiellement les déficits neurocognitifs liés à l'âge. Finalement, le vieillissement cognitif est marqué par des modifications du fonctionnement cérébral dont certaines s'accompagnent de mécanismes de réorganisation cérébrale potentiellement adaptatifs (Reuter-Lorenz & Park, 2010). Ce modèle explique que l'activité préfrontale pendant des tâches cognitives est moins latéralisée chez les personnes âgées que chez les personnes jeunes. Il se base sur des données de neuroimagerie fonctionnelle et des études examinant les changements d'activation au niveau de tâches évaluant la mémoire épisodique, la mémoire de travail, la perception et l'inhibition. Par exemple, la figure 3 montre que les personnes âgées ont une activité préfrontale plus bilatérale que les personnes jeunes pendant des tâches de mémoire de travail spatiale et verbale.



** $p < 0.03$, *** $p < 0.001$

Figure 3. Activité au niveau du cortex préfrontal droit et gauche chez les personnes jeunes et âgées pendant des tâches de mémoire de travail spatial et verbal

Source : figure tirée de Reuter-Lorenz et al. (2000)

L'hypothèse dominante à l'heure actuelle consiste à penser que cette réduction de l'asymétrie liée à l'âge permet de compenser les altérations cérébrales liées au vieillissement,

grâce à des phénomènes de neuroplasticité. Les études ont montré une forte association entre une activité bilatérale chez les âgés et des performances cognitives augmentées. Une récente synthèse a permis de montrer que parmi les études en IRMf ayant directement testé ce lien, 70% ont observé une corrélation positive entre l'activation cérébrale et la performance dans différentes tâches cognitives des adultes âgés dans certaines régions cérébrales, le plus souvent au niveau frontal, pariétal et temporal (Eyler et al., 2011). Une autre hypothèse proposée pour expliquer le fait que les personnes âgées recrutent des aires cérébrales supplémentaires s'appuie sur la notion de dédifférenciation. D'un point de vue cérébral, la dédifférenciation au cours du vieillissement se traduirait par une perte de spécificité neuronale. Cela s'appuie sur des études montrant que les participants âgés présentent des activations beaucoup moins spécialisées que les jeunes (J. Park et al., 2012). Finalement, l'hypothèse de compensation ne serait pas forcément contradictoire avec l'hypothèse de dédifférenciation. De récents travaux montrent que des activations supplémentaires au niveau frontal pourraient être utilisées pour compenser la dédifférenciation dans les régions plus postérieures. Comme le modèle HAROLD, les modèles STAC-r et CRUNCH ont également été proposés pour expliquer les différences d'activation cérébrale en fonction de l'âge. Ces modèles reflètent une conception dynamique du vieillissement neurocognitif et mettent en avant les interactions entre les aspects déficitaires du vieillissement et le potentiel de plasticité du cerveau âgé (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008; Reuter-Lorenz & Park, 2014). Contrairement au modèle HAROLD, ces modèles adoptent une vision plus large prenant en compte plusieurs facteurs tels que, par exemple, les différences inter-individuelles ou le niveau d'activité physique.

2.3.2 Modèle STAC

Le modèle STAC-revisité (2014) est un modèle conceptuel qui définit l'état cognitif en prenant en compte à la fois les facteurs influençant favorablement et défavorablement la structure et le fonctionnement cérébral (figure 4). Le modèle STAC-r est la suite du modèle STAC qui a été développé en 2009. Il permet de mieux comprendre les effets de l'âge sur la cognition en prenant en compte les altérations cognitives et les modifications cérébrales structurales et fonctionnelles qui surviennent tout au long de la vie, en combinaison avec les expériences de l'individu. Le niveau de fonctionnement cognitif d'une personne âgée peut être expliqué à la fois par des modifications neuronales, comme une diminution de l'épaisseur corticale ou des changements au niveau de la matière grise et par une détérioration fonctionnelle. La détérioration fonctionnelle fait référence aux indicateurs de l'activité cérébrale lié à l'âge comme la dédifférenciation des aires motrices, ventrales, et visuelles. Le

niveau de fonctionnement cognitif chez une personne âgée est donc une conséquence des modifications négatives et des mécanismes de compensation qui peuvent avoir lieu au niveau cérébral. Dans ce modèle, les auteurs ont ajouté le concept d'échafaudage compensatoire (« *compensatory scaffolding* ») qui a pour but d'améliorer ou de contrer les effets du déclin fonctionnel et neuronal et peut être considéré comme une forme de plasticité positive. Grâce aux techniques de neuroimagerie, certaines études ont pu montrer, par exemple, que les personnes âgées ont en général une activation plus grande ou un recrutement additionnel des régions cérébrales préfrontales plus important par rapport aux personnes jeunes (Davis et al., 2008). Une suractivation peut aussi se traduire par un recrutement bilatéral, où les adultes âgés activent les régions cérébrales droites et gauches notamment lorsque la tâche implique les fonctions exécutives, la mémoire et la perception. Ces réseaux secondaires, qui vont agir comme un « échafaudage » pourraient survenir tout au long de la vie, par exemple en cas de lésion cérébrale ou encore lors de la réalisation d'une tâche particulièrement coûteuse d'un point de vue cognitif. Le modèle STAC-r est un modèle dynamique où les variables neurophysiologiques et les traitements neuronaux compensatoires opèrent de manière conjointe pour prédire le fonctionnement cognitif au cours du temps. Les auteurs se sont basés sur les résultats d'études longitudinales pour expliquer que ce sont les expériences au cours de la vie qui permettent de diminuer ou d'augmenter les ressources cérébrales. L'enrichissement des ressources neuronales (« *neural resource enrichment* »), par une variété de facteurs (par ex : l'éducation, l'activité physique) a un effet direct sur la structure (ex. : épaisseur corticale) et les fonctions cérébrales. Cela peut aussi augmenter, de manière plus indirecte, les capacités de compensation. Chez certains individus, le niveau d'étude ou d'autres facteurs ne peuvent pas empêcher les déclinés au niveau de la structure et des fonctions cérébrales. Par contre, ils peuvent aider à augmenter les capacités de compensation. A l'inverse, l'épuisement des ressources neuronales (« *neural resource depletion* ») a un effet négatif sur la structure et les fonctions cérébrales, et par conséquent, la cognition. Parmi les facteurs participant à l'épuisement neuronal, il y a les facteurs génétiques (ex. gène APOE-4) et les facteurs de risque vasculaire (ex. : diabète, tabac). Par rapport au premier modèle, le modèle STAC-r montre que la structure cérébrale et les fonctions cérébrales peuvent refléter les effets négatifs et les effets positifs de la plasticité, du développement et des influences au cours de la vie. Le module intervention remplace le module « *scaffolding enhancement* » du modèle original STAC. Les interventions comme l'exercice, les programmes d'entraînement cognitif ainsi que les apprentissages peuvent modifier les connexions et améliorer les mécanismes de compensation. Celui-ci a donc des

effets bénéfiques sur les mécanismes de compensation, appelé dans le modèle échaffaudage compensatoire (« *compensatory scaffolding* »).

Une partie de mes travaux, notamment ceux qui concernent l'étude des mécanismes cérébraux sous-jacents à la marche, s'appuie sur le concept de l'échafaudage compensatoire, c'est-à-dire la notion de mécanismes neuronaux compensatoires permettant de maintenir un bon niveau de fonctionnement cognitif avec l'âge ou la survenue d'une maladie de Parkinson (Hoang, Paire-Ficout, et al., 2022; Ranchet, Hoang, et al., 2020).

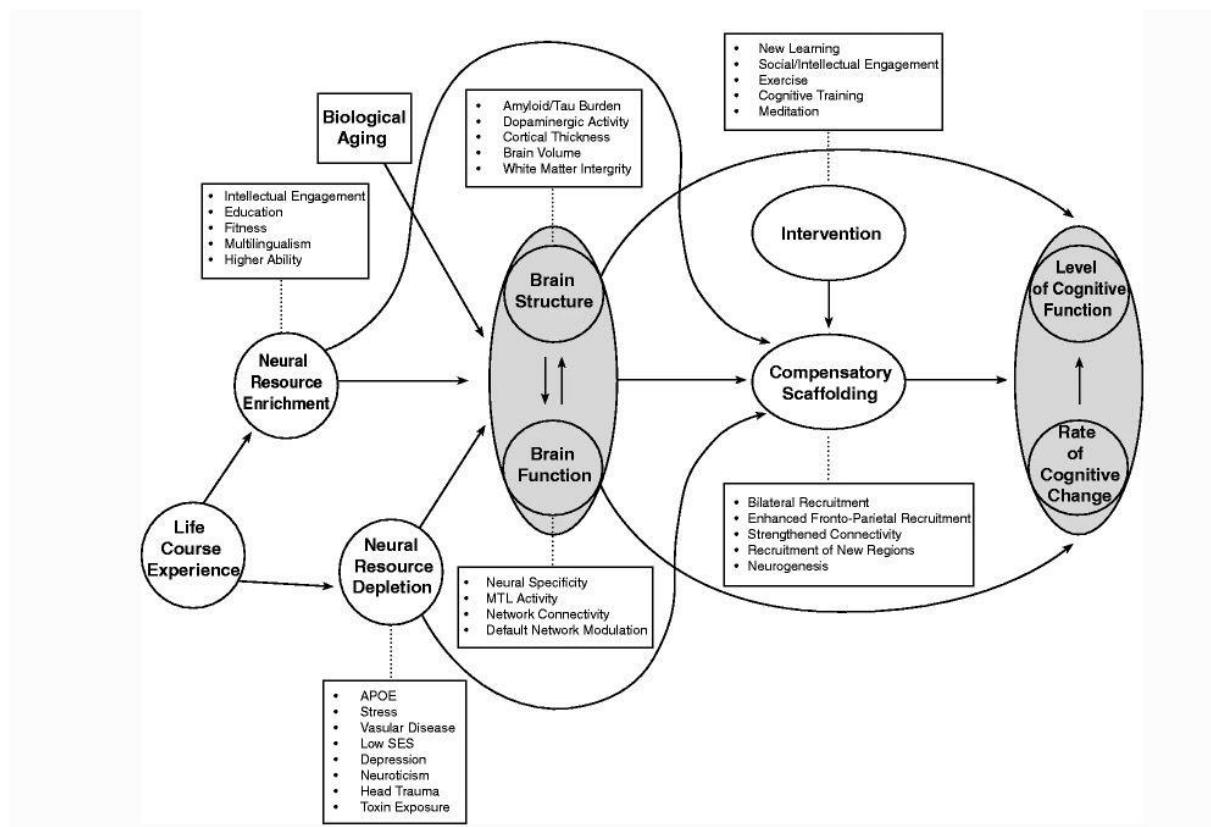


Figure 4. Modèle conceptuel de la théorie de l'échafaudage du vieillissement et de la cognition – Modèle STAC-r

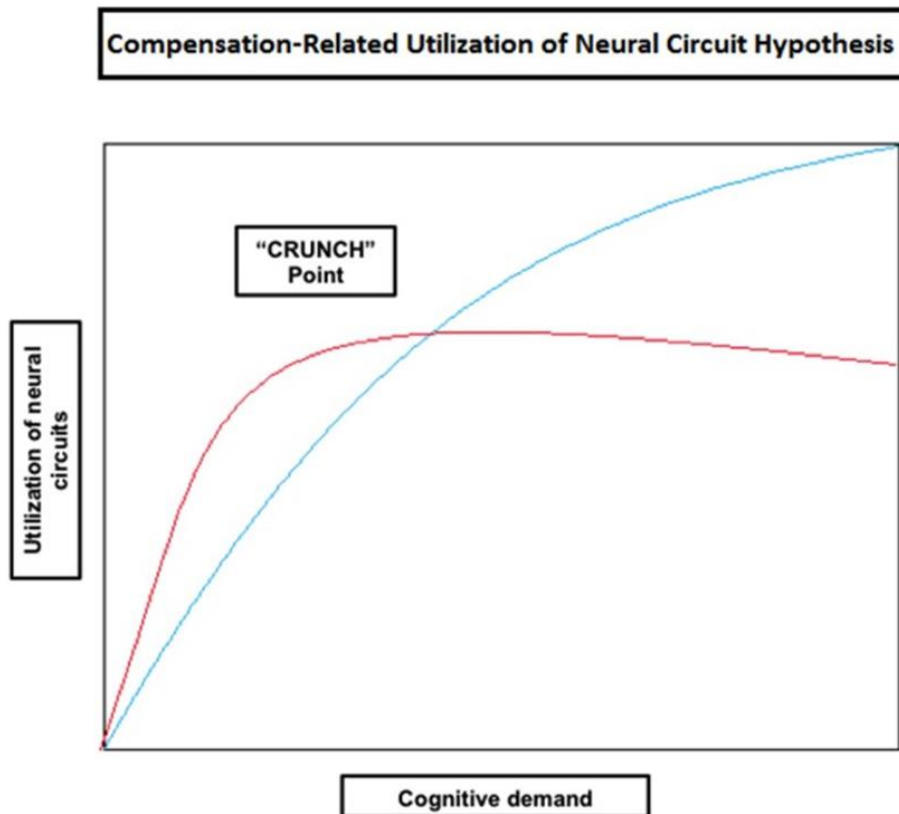
Source : figure tirée de Reuter-Lorenz & Park (2014)

2.3.3 Modèle CRUNCH

Le modèle CRUNCH (2008) a été proposé pour rendre compte des patterns de suractivation et de sous-activation des adultes âgés (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008). Il se base sur le postulat selon lequel le niveau d'activation cérébrale au cours de la réalisation d'une tâche cognitive augmente avec la difficulté de la tâche et donc avec la quantité de ressources nécessaires. Lorsque le degré de difficulté de la tâche est faible, les personnes âgées auraient besoin de

déployer davantage de ressources cognitives que les personnes jeunes (figure 5). Ceci peut se traduire par une activité cérébrale plus importante, c'est-à-dire par une suractivation (par ex. : un recrutement frontal plus bilatéral) chez les personnes âgées par rapport aux personnes jeunes.

Ces suractivations cérébrales peuvent refléter deux types de compensation. Les adultes âgés peuvent présenter une suractivation cérébrale avec des performances comportementales équivalentes à celles des jeunes. Ce *pattern* est considéré comme un phénomène de *compensation réussie*. Certains auteurs suggèrent que cette suractivation au niveau cérébral pourrait présager d'un futur déclin ce qui permet d'orienter l'intervention thérapeutique (Wagshul et al., 2019). Les personnes âgées disposent de moins de ressources que les jeunes, en général, et atteignent plus rapidement leurs limites (figure 5). Elles peuvent donc également présenter une plus forte activité cérébrale et avoir de plus faibles performances comportementales par rapport aux personnes jeunes. Ce *pattern* est considéré comme un mécanisme de tentative de compensation. Certains travaux utilisant des tâches de mémoire de travail vont dans le sens du modèle CRUNCH (Cappell et al., 2010; Mattay et al., 2006; Schneider-Garces et al., 2010).



Par rapport aux personnes jeunes (ligne bleue), les personnes âgées (ligne rouge) atteignent leurs limites de ressources à des niveaux de demande cognitive inférieurs « point CRUNCH ». Après ce point, l'activité cérébrale des personnes âgées peut plafonner ou même diminuer, tout comme leurs performances.

Figure 5. Illustration de l'utilisation des circuits neuronaux chez les personnes jeunes et les personnes âgées

Source : figure tirée de Martins et al. (2015)

Par exemple, dans le contexte de la marche, pour des niveaux de difficulté élevées, les personnes âgées peuvent présenter à la fois une plus faible activité cérébrale et des performances de marche dégradées par rapport aux personnes jeunes. Dans ce cas, la personne n'est plus en mesure d'augmenter ses ressources. Le modèle prédit que la quantité de ressources disponibles serait influencée par l'âge mais également modulé par d'autres caractéristiques de l'individu telles que son niveau de scolarité, son style de vie, son niveau d'activité physique. Comme pour le modèle STAC-r, le modèle CRUNCH est bien un modèle intégratif du vieillissement cognitif, qui souligne à la fois les aspects déficitaires du vieillissement et le potentiel de plasticité du cerveau âgé.

Pour résumer, le vieillissement se caractérise par des déficits cognitifs, associés à des altérations cérébrales, à la fois structurelles et fonctionnelles. Certaines modifications liées à l'âge pourraient être adaptatives, témoignant de l'existence de mécanismes de plasticité au cours du vieillissement. Avec la survenue d'une maladie neuro-évolutive, les déficits cognitifs sont davantage prononcés mais il existe cependant des mécanismes de neuroplasticité qui permettraient de compenser au moins partiellement ces déficits. Ces déficits cognitifs liés à l'âge ou à la pathologie peuvent avoir des répercussions sur les activités de la vie quotidienne, et notamment sur l'activité de conduite automobile. Dans le chapitre suivant, je présente mes recherches concernant les effets du vieillissement et/ou de la pathologie sur la conduite automobile.

Chapitre 2. Effet du vieillissement et/ou de la pathologie sur la conduite automobile

Pour les personnes âgées et/ou présentant une affection médicale, la conduite peut être considérée comme une activité complexe car elle fait appel à différentes capacités : cognitives, sensorielles et motrices. Ces capacités peuvent être diminuées au cours du vieillissement normal (Voir Lemaire & Bherer, 2005 pour une revue), et davantage dans le cas de pathologies ou de maladies neuro-évolutives (Paire-Ficout, 2006). Certaines situations de conduite, comme par exemple, la conduite en ville ou la conduite dans des environnements non familiers implique, de la part du conducteur, de faire attention aux événements inattendus et de réagir de manière adaptée en un temps limité (ex. : piéton qui traverse soudainement).

En France, il n'existe pas de réglementation imposant une évaluation systématique de l'aptitude à la conduite pour les conducteurs âgés. Par contre, quand une personne (quel que soit son âge) présente une affection médicale, son aptitude à la conduite doit être évaluée par un médecin qui donne un avis officiel sur l'aptitude à la conduite. Au sens de l'arrêté, l'affection médicale comprend les pathologies, symptômes, handicaps ou déficits sensoriels susceptibles d'affecter l'aptitude médicale à la conduite. Au niveau législatif, il y a un arrêté qui présente la liste des affections médicales incompatibles ou compatibles avec ou sans aménagements ou restrictions pour l'obtention, le renouvellement ou le maintien du permis de conduire ou pouvant donner lieu à la délivrance de permis de conduire de durée de validité limitée (Arrêté du 28 mars 2022 modifiant l'arrêté du 31 juillet 2012 relatif à l'organisation du contrôle médical de l'aptitude à la conduite, 2022). Bien que cet arrêté rende compte des affections médicales compatibles ou non avec la conduite, il ne décrit pas précisément les moyens et les modalités d'évaluation de l'aptitude à la conduite.

Mieux comprendre l'implication des fonctions cognitives, motrices et sensorielles dans l'activité de conduite automobile est essentiel pour déterminer dans quelle mesure un conducteur peut continuer à conduire en sécurité. Pour un conducteur âgé avec ou sans pathologie, la perte du permis de conduire peut avoir des répercussions négatives sur sa mobilité, sa participation à des activités hors du domicile et sur sa santé. En effet, la possibilité d'utiliser librement un véhicule est considérée comme un signe d'autonomie et de qualité de vie (Marottoli et al., 2000).

C'est dans ce contexte que s'inscrit la plupart de mes travaux sur la conduite automobile. Une partie de mes recherches portent sur la problématique de l'évaluation de l'aptitude à la

conduite des personnes présentant une affection médicale. Une autre partie consiste à mieux comprendre les répercussions des troubles cognitifs sur le comportement de conduite. Ces troubles cognitifs peuvent être liés à l'âge et/ou à la survenue d'une pathologie. Dans la plupart de mes travaux, les fonctions exécutives, c'est-à-dire toutes les fonctions qui permettent à l'individu de s'adapter à une nouvelle situation sont particulièrement étudiées. Pour expliquer et comprendre le comportement de conduite, je me suis basée sur plusieurs modèles de la conduite, décrits ci-dessous.

1. Modèles de la conduite automobile

Depuis les années 70-80, plusieurs modèles ont été proposés pour décrire finement l'activité de conduite et comprendre les facteurs qui agissent sur la performance de conduite automobile. Les modèles de conduite les plus pertinents dans le cadre de mes recherches sur le vieillissement et la pathologie sont : le modèle de Michon (1985), dans la mesure où il prend en compte les différents niveaux de comportements, le modèle d'Anstey *et al.* (2005), qui adopte une approche multifactorielle de l'activité de conduite et le modèle de la compétence de conduite et du comportement (Lindstrom-Forneri *et al.*, 2010), qui a été développé pour expliquer le niveau de compétence et le niveau de performance de conduite des personnes âgées.

1.1 Modèle de Michon (1985)

Le modèle hiérarchique de Michon (1985) propose trois niveaux à partir desquels les comportements au volant peuvent être abordés. Michon (1985) considère l'activité de conduite comme un ensemble de tâches simultanées mais ayant des exigences temporelles et cognitives différentes. Selon l'auteur, plus une tâche exige une réponse rapide, moins elle est coûteuse d'un point de vue cognitif. Le modèle propose trois niveaux hiérarchiques : le niveau stratégique, le niveau tactique et le niveau opérationnel. La figure 6 présente une illustration du modèle de Michon avec les trois niveaux et les principales fonctions cognitives impliquées. Notons qu'à l'origine, le modèle de Michon fait peu état des fonctions cognitives nécessaires et associées aux différents comportements de conduite.

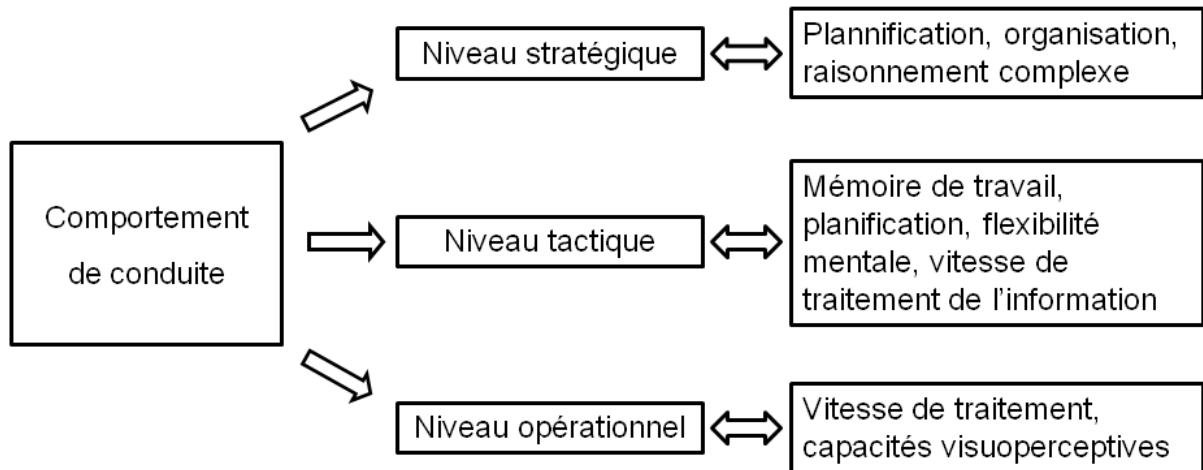


Figure 6. Illustration du modèle de Michon (1985) et fonctions cognitives impliquées

Source : d'après Ranchet et al. (2012)

Le *niveau stratégique* comprend les tâches exigeant un investissement cognitif élevé et des ressources attentionnelles disponibles. En revanche, la pression temporelle est relativement faible. C'est à ce niveau que se situent les tâches de planification de l'itinéraire, de navigation ou de choix de la route. Ces comportements font appel à des compétences exécutives de haut niveau telles que la planification, l'organisation et le raisonnement complexe.

Le *niveau tactique* comprend les tâches relevant des prises de décision concernant les actions qui vont être mises en œuvre dans les instants qui suivent. Le coût cognitif de la tâche est moins élevé qu'au niveau supérieur, mais son exigence temporelle est relativement forte. Ce niveau regroupe diverses actions de pilotage du véhicule telles que le dépassement, la distance inter-véhiculaire, l'ajustement de la vitesse ou encore l'anticipation d'une situation (virage, feu tricolore). Ces comportements font appel à la fois aux compétences exécutives telles que la planification et le *set shifting* et à la fois à des compétences cognitives de plus bas niveau comme la vitesse de traitement de l'information.

Enfin, le *niveau opérationnel* correspond à l'exécution des actions décidées aux niveaux supérieurs. Ce niveau est situé au plus bas dans la hiérarchie du modèle et les tâches dépendantes de ce niveau sont automatisées. Leur coût cognitif est faible mais l'exigence temporelle est très élevée. Ce niveau regroupe de nombreuses tâches de guidage, de contrôle de la trajectoire, de réactions aux obstacles ou d'exécution motrice des manœuvres (ex. : freiner, accélérer, passer le rapport correspondant à la situation en cours). Ces comportements impliquent la vitesse de traitement de l'information et les capacités visuo-perceptives.

Comme l'énonce Gagnon (2010), il s'agit d'un modèle interprétatif efficace. Le modèle de Michon (1985) permet d'interpréter les comportements observables en situation de conduite réelle et permet de les classer en différents niveaux. C'est un des modèles qui est utilisé dans de nombreux travaux sur la maladie de Parkinson et la conduite automobile (Stolwyk, *et al.*, 2006a; Stolwyk, *et al.*, 2006b; Wood, *et al.*, 2005). Je l'ai également utilisé dans mes recherches sur la maladie de Parkinson et la conduite automobile pour hiérarchiser la performance de conduite en 3 niveaux (Devos *et al.*, 2015; Ranchet *et al.*, 2012, 2013). Cependant, ce modèle ne prend pas en compte la totalité des facteurs qui pourraient expliquer l'activité de conduite. Il existe, à ce jour, des modèles multifactoriels qui soulignent le fait que la conduite automobile ne peut plus être considérée uniquement comme le reflet des capacités cognitives et motrices du conducteur âgé (Anstey, *et al.*, 2005; Lindstrom-Forneri, Tuokko, Garrett, & Molnar, 2010).

1.2 Modèle d'Anstey *et al.* (2005)

Ce modèle multifactoriel a été développé dans le but de mieux comprendre les facteurs nécessaires à un comportement de conduite sécuritaire (figure 7). Il est réalisé à partir d'études empiriques s'intéressant aux déterminants d'une conduite sécuritaire et de risque d'accidents.

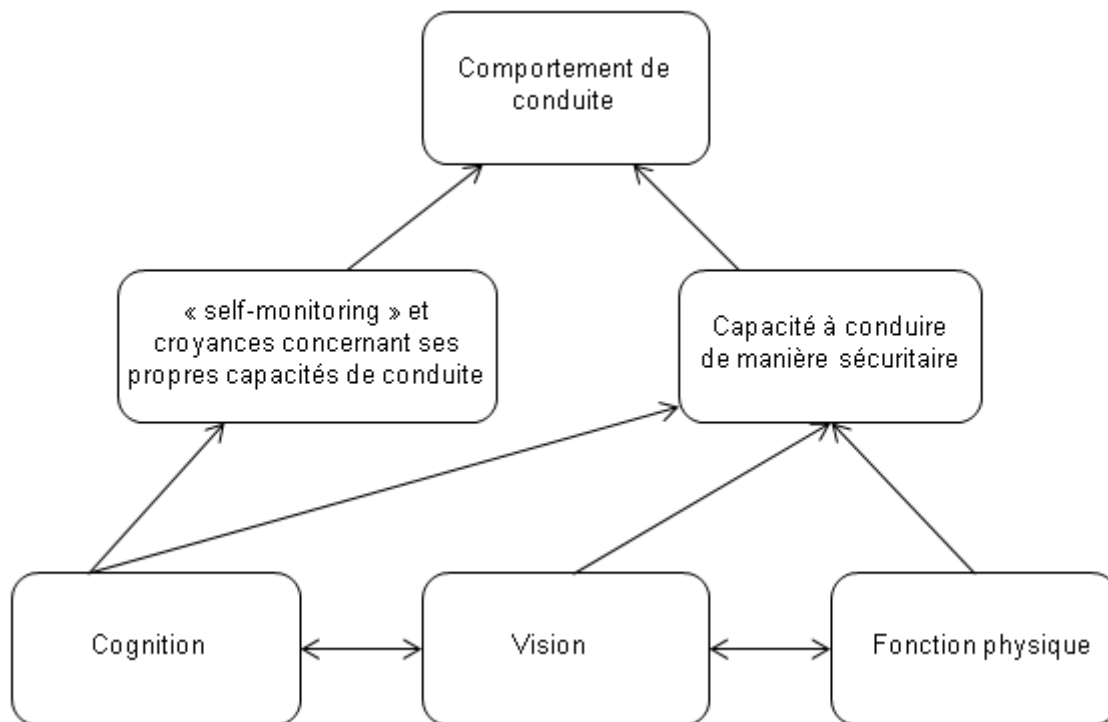


Figure 7. Modèle schématisé des facteurs permettant le comportement de conduite sécuritaire

Source : d'après Anstey *et al.* (2005), p. 60.

Dans ce modèle, Anstey *et al.* (2005) intègrent un autre facteur plus subjectif, qui sera un déterminant du « comportement de conduite » : l'auto-évaluation faite par le conducteur âgé. En effet, ce sont les propres croyances de l'individu et la capacité à conduire de manière sécuritaire qui vont déterminer le comportement réel du conducteur. Les croyances concernant ses propres capacités de conduite s'apparentent au niveau stratégique du modèle de Michon (1985). Au niveau stratégique, les conducteurs doivent être conscients de leurs capacités pour ajuster leurs comportements de conduite. Par exemple, un conducteur âgé peut avoir des difficultés à s'insérer dans une intersection. S'il a conscience de cette difficulté, il peut adapter sa conduite en évitant cette situation. Selon ce modèle, il y a donc des interactions au cours du temps entre l'auto-évaluation et les facteurs qui peuvent agir positivement ou négativement sur le comportement de conduite sécuritaire. Les facteurs qui influencent « la capacité à conduire de façon sécuritaire » sont les fonctions cognitives (vitesse de traitement, fonctions exécutives, capacités visuo-spatiales, mémoire à court terme et attention visuelle), visuelles (acuité visuelle et sensibilité au contraste) et physiques (état de santé, aspects psychomoteurs). Mes recherches sur l'évaluation de l'aptitude à la conduite intègrent de plus en plus la conscience qu'a l'individu de ses propres capacités, qui joue un rôle primordial sur la façon dont la personne va réguler sa conduite.

1.3 Modèle de Lindstrom-Forneri et al. (2010)

Ce modèle, intitulé « la conduite en tant que modèle de compétence quotidienne » (*Driving as an Everyday Competence model*) est présenté dans la figure 8 ci-dessous.

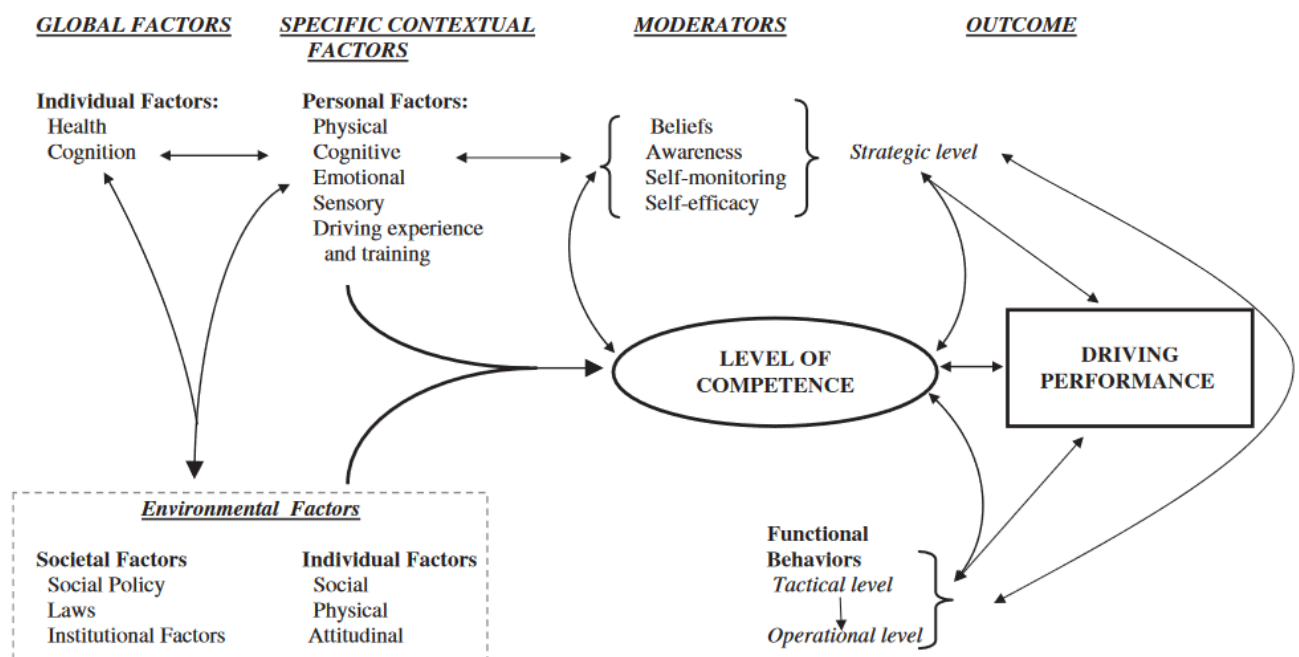


Figure 8. La conduite en tant que modèle de compétence quotidienne

Ce modèle a été développé pour les conducteurs âgés. Il se penche sur l'interinfluence de différents facteurs sur la conduite automobile des conducteurs âgés : les facteurs d'ordre individuel (habiletés perceptives, cognitives et physiques) et d'ordre environnemental (besoins, opinion des membres de la famille, environnement routier, etc..). Il pose un cadre théorique qui intègre à la fois le conducteur (ex. : les caractéristiques individuelles), l'environnement (ex. : les facteurs socioculturels), les influences sociales (par exemple, la disponibilité de moyens de transports alternatifs), les croyances en soi ainsi que les influences sociétales (par exemple, l'importance de la conduite). Différents facteurs (facteurs personnels et environnementaux) peuvent agir sur le niveau de compétence. La compétence se réfère à la capacité de la personne à conduire compte tenu de l'interaction dynamique entre l'individu et son environnement alors que la performance de conduite se réfère à la performance actuelle (observable) de conduite. D'importants modérateurs font partie intégrante de ce modèle : les croyances individuelles, la conscience, les sentiments de contrôle et d'efficacité perçus modèrent les performances de conduite réelles en influençant l'aspect planification de la conduite (niveau stratégique). Les comportements fonctionnels ont été assimilés aux comportements de conduite réels qui sont mesurables car ils se réfèrent à ce que la personne âgée fait réellement sur la route. Les décisions faites à un niveau stratégique influencent le niveau fonctionnel. Par exemple, un conducteur âgé qui se sent ralenti (temps de réaction plus important) peut compenser (décision stratégique) en conduisant seulement lorsque le trafic est faible (facteur environnemental). Il peut maintenir également une distance inter-véhiculaire plus importante (niveau tactique) ce qui peut diminuer le fait de freiner fortement (niveau opérationnel). L'inclusion des différents facteurs (personnels, individuels et environnementaux) permet d'expliquer le niveau de compétence. Il permet également de mieux tenir compte des processus sous-jacents à la restriction et à l'arrêt de la conduite, et des raisons pour lesquelles certains conducteurs plus âgés continuent de conduire malgré une faible compétence de conduite. Ce modèle est également important pour l'évaluation clinique de la compétence de conduite : en reconnaissant la compétence de conduite comme une interaction entre la personne et l'environnement (à la fois physique et social), les professionnels responsables de l'évaluation de la compétence de conduite peuvent prendre en compte un large éventail de facteurs (par exemple, le fonctionnement cognitif et physique, les connaissances de conduite) dans le contexte environnemental spécifique de l'individu. Par exemple, lors de l'évaluation d'un conducteur atteint de démence, bien qu'il soit important d'évaluer la cognition, l'évaluateur peut également évaluer l'environnement de la

conduite, les facteurs de niveau stratégique individuels (c'est-à-dire la conscience de ses propres capacités) et leur performance de conduite réelle. Le constat qui se dégage de ce modèle est que la conduite automobile ne peut plus être considérée uniquement comme le reflet des capacités cognitives et motrices du conducteur âgé.

Dans le cadre de mes recherches en conduite sur le vieillissement et la pathologie, ces modèles permettent (1) d'interpréter les difficultés observées lors de la conduite, (2) d'observer les principaux facteurs (cognitifs, visuels et physiques) nécessaires à une conduite sécuritaire sans négliger l'aspect plus subjectif de l'auto-évaluation du conducteur pour un comportement de conduite approprié et (3) de rendre compte des mécanismes de compensation qu'un conducteur peut adopter. Ainsi, ces modèles s'appliquent bien au conducteur âgé mais également au conducteur présentant une pathologie neurologique, ou atteint d'une maladie neuro-évolutive, comme la maladie de Parkinson.

Comme décrit dans le modèle d'Anstey (2005), la capacité à conduire, c'est-à-dire l'aptitude à la conduite, peut expliquer en partie la performance de conduite. L'évaluation de l'aptitude à la conduite dépend fortement de la législation en question. Je présente ci-après la législation concernant l'aptitude à la conduite qui peut être bien différente d'un pays à un autre.

2. Législation concernant l'aptitude à la conduite

2.1 Aux Etats-Unis

Aux États-Unis, les lois varient entre les états. Aucune visite médicale n'est nécessaire pour les personnes âgées mais les permis ne sont accordés que pour de courtes durées (de 2 à 10 ans). Le rôle du médecin est de rapporter à l'autorité compétente les personnes dont l'état médical pourrait diminuer leurs capacités à conduire de manière sécuritaire. C'est ensuite l'autorité qui détermine l'incapacité ou la capacité de la personne à conduire de manière sûre. En cas de doute, un expert de la conduite (« *driving rehabilitation specialist* ») peut être consulté. Cette évaluation (au frais du patient) inclut des tests neuropsychologiques et visuels, une évaluation sur simulateur et une évaluation sur route, si nécessaire.

2.2 En Europe

En Europe, plusieurs pays imposent des examens obligatoires pour évaluer l'aptitude à la conduite chez les personnes âgées. Aux Pays-Bas, à partir de 75 ans, l'automobiliste a l'obligation de passer un examen médical tous les cinq ans. Au Danemark et en Finlande, c'est à 70 ans, et à 65 ans en Espagne avec un rappel tous les cinq ans. Dans certains pays européens (e.g., Luxembourg, l'Autriche, le Danemark, la Grèce, l'Italie, la Suisse ou la Suède), le

médecin a l'obligation de rapporter l'état médical du patient aux autorités compétentes. En Suisse, depuis 2019, le contexte légal requiert que l'aptitude à la conduite des personnes de plus de 75 ans fasse l'objet d'une évaluation médicale tous les 2 ans (l'âge était auparavant de 70 ans). Le médecin peut également demander un examen pour établir l'aptitude à la conduite automobile qui comprend un entretien détaillé avec la personne, un questionnaire médical, des examens neuropsychologique, neurologique et visuel. En Belgique, il n'y a pas de contrôle obligatoire pour les personnes âgées en général. Par contre, lorsqu'une personne présente une diminution de ses capacités fonctionnelles en raison d'une maladie, d'un accident ou d'une affection médicale susceptible d'influer sur la conduite, elle doit s'adresser au CARA (Centre d'Aptitude à la Conduite et d'Adaptation des Véhicules, département de l'institut VIAS) pour un examen d'aptitude à la conduite. Le CARA en Belgique est un bel exemple de centre d'évaluation pluriprofessionnelle de l'aptitude à la conduite (psychologues, médecins, experts de la conduite comprenant des moniteurs d'auto-école ou des ergothérapeutes). Ce centre évalue l'influence que peut avoir la diminution des capacités fonctionnelles sur l'aptitude à conduire un véhicule. Lors de sa visite, la personne réalise un bilan d'évaluation de l'aptitude à la conduite, basé sur des tests neuropsychologiques et un test sur route. Au final, c'est une équipe pluridisciplinaire qui évalue l'aptitude à la conduite et qui détermine les conditions et/ou restrictions du permis de conduire et les modifications éventuelles à apporter au véhicule (ex. : boule sur le volant). Le CARA ne délivre pas de permis de conduire mais des attestations d'aptitude à la conduite, uniquement pour les permis de conduire du groupe 1 (A3, A, B, B+E, G). L'avis d'aptitude à la conduite peut être favorable (apte à la conduite), favorable avec restrictions ou aménagements, ou défavorable (inapte à la conduite de manière définitive ou temporaire). C'est ensuite le médecin qui délivre une attestation d'aptitude à la conduite permettant d'obtenir un permis de conduire adapté.

2.2.1 Cas de la France

En France, il n'existe pas d'évaluation systématique de l'aptitude à la conduite pour les conducteurs âgés. En revanche, un contrôle médical de l'aptitude à la conduite doit avoir lieu pour un candidat au permis ou un titulaire du permis de conduire dans diverses situations : annulation, invalidation ou suspension du permis, ou dans le cas d'affection médicale incompatible avec le maintien ou l'obtention du permis de conduire (e.g. : démence avérée, trouble visuel sévère, troubles cardiovasculaires, épilepsie). Les affections médicales incompatibles ou compatibles avec ou sans aménagements ou restrictions pour l'obtention, le renouvellement ou le maintien du permis de conduire font l'objet d'un arrêté signé

conjointement par le ministère de l'intérieur et celui de la santé. Cet arrêté est remis à jour régulièrement, la dernière mise à jour date du 28 Mars 2022 (Arrêté du 28 mars 2022 modifiant l'arrêté du 31 juillet 2012 relatif à l'organisation du contrôle médical de l'aptitude à la conduite, 2022). Cet arrêté prend en compte les innovations scientifiques et technologiques afin d'ouvrir l'accès à la conduite, y compris les véhicules lourds, à des personnes ayant des incapacités physiques ou auditives importantes. Il précise le cas des personnes présentant un diabète et le cas de certaines affections médicales incompatibles avec la conduite de manière temporaire ou définitive (pour plus d'informations, voir Gallot et al. (2022)). Ce sont les médecins agréés qui rendent un avis sur l'aptitude à la conduite, transmis par l'intermédiaire d'un document CERFA (n°14880) au préfet, qui rend la décision finale d'aptitude à la conduite. Le médecin émet un de ces avis : inapte, apte, apte temporaire pour une durée de validité limitée (supérieure ou égale à 6 mois, et inférieure ou égale à 5 ans), ou avec les restrictions (ex : conduite de jour uniquement) ou dispenses (ex : dispositif de correction et/ou protection de la vision). Le médecin agréé peut s'appuyer sur l'avis d'une équipe pluriprofessionnelle qui a réalisé une évaluation complète de l'aptitude à la conduite comprenant un bilan médical, parfois un bilan neuropsychologique, et une mise en situation sur route.

Je détaille ci-dessous le cas des personnes présentant des troubles neurologiques, comme la plupart de mes travaux ont été menés sur cette population.

Personnes présentant des troubles cognitifs des pathologies neuro-évolutives type maladie d'Alzheimer et maladies apparentées

Selon ce nouvel arrêté de 2022, pour continuer à conduire, les personnes ayant des troubles cognitifs des pathologies neuro-évolutives type maladie d'Alzheimer et maladies apparentées, doivent obtenir un avis spécialisé auprès d'une équipe pluriprofessionnelle qui comprend un ou des médecins spécialistes (neurologue, gériatre, psychiatre ou médecin Médecine Physique et de Réadaptation (MPR)). Ce qui change par rapport à l'arrêté précédent est que l'incompatibilité définitive survient dès le début du stade 3 de l'échelle de Reisberg qui correspond au début du déclin cognitif. Cela signifie que les personnes atteintes de troubles cognitifs liés à ces pathologies neuro-évolutives type maladie d'Alzheimer et maladies apparentées (comme la maladie de Parkinson) ne peuvent plus conduire dès l'apparition d'un déclin cognitif. Un certain nombre de professionnels de santé, de personnes dans le milieu associatif (Association France Alzheimer) et dans le milieu de la recherche s'interrogent sur la mise en place de cet arrêté et notamment sur l'absence de clarté concernant la décision d'exclure

une personne de la possibilité de conduire (*Interdiction de conduire visant toute personne atteinte de troubles cognitifs*, 2022).

La réglementation concernant l'aptitude à la conduite est assez méconnue des personnes présentant une affection médicale mais également des médecins généralistes. En effet, les médecins généralistes sont plus ou moins sensibilisés à la question de l'aptitude médicale à la conduite. Certaines personnes, bien que présentant des limites fonctionnelles à la conduite, ne sont pas forcément orientées vers un médecin agréé, et leur aptitude à la conduite n'est donc pas évaluée.

3. Evaluation de l'aptitude à la conduite automobile

Il est parfois délicat pour le médecin, notamment agréé, de rendre un avis « éclairé » sur l'aptitude à la conduite. Pour les personnes présentant une affection médicale (ex. : troubles psychiatriques, troubles visuels), les méthodes utilisées pour évaluer la conduite dans les centres de rééducation, dans les hôpitaux ou dans les cabinets médicaux sont très hétérogènes. L'aptitude à la conduite se fait le plus souvent par une évaluation médicale, qui est basé sur des critères cliniques, comme par exemple la sévérité de la maladie ou le type de médicaments utilisés, parfois par une mise en situation sur route. Toutefois, l'évaluation de l'aptitude à la conduite automobile en contexte de conduite n'est pas réalisée de manière systématique : l'utilisation de tests neuropsychologiques, de tâches sur simulateur de conduite ou de mise en situation sur route peuvent compléter cette évaluation médicale. A ce jour, une seule recommandation de bonne pratique, labellisée par la Haute Autorité de Santé (HAS) a été produite concernant la reprise de la conduite automobile après lésion cérébrale acquise non évolutive (Comète France, SOFMER, FEDMER, IFSTTAR, 2016). Ces recommandations de bonnes pratiques décrivent le 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 se pose. Selon ces recommandations, les préconisations concernant la reprise de la conduite doivent être réalisées après une évaluation pluriprofessionnelle des capacités de conduite. Celle-ci comprend une consultation médicale, une mise en situation écologique sur route réalisée par un binôme enseignant de la conduite – ergothérapeute, parfois un bilan neuropsychologique et une synthèse pluridisciplinaire en présence d'un médecin. Cette approche permet une évaluation précise et concrète de l'aptitude à la conduite de la personne cérébrolésée.

La problématique de l'aptitude à la conduite chez les conducteurs présentant des affections médicales soulève plusieurs questions : Comment les médecins, les moniteurs d'auto-école et/ou les ergothérapeutes évaluent-ils l'aptitude à la conduite ? Quels sont les taux de désaccords entre ces évaluateurs ? Sur quels critères se basent-ils pour émettre un avis sur l'aptitude à la conduite ? Les résultats de mes travaux de post-doctorat réalisés avec Hannes Devos, et menés en collaboration avec le centre d'évaluation de la conduite en Belgique (Mark Tant, Institut Vias) permettent en partie de répondre à ces questions. Ils sont présentés dans le paragraphe suivant.

3.1 Aptitude à la conduite des personnes présentant une affection médicale

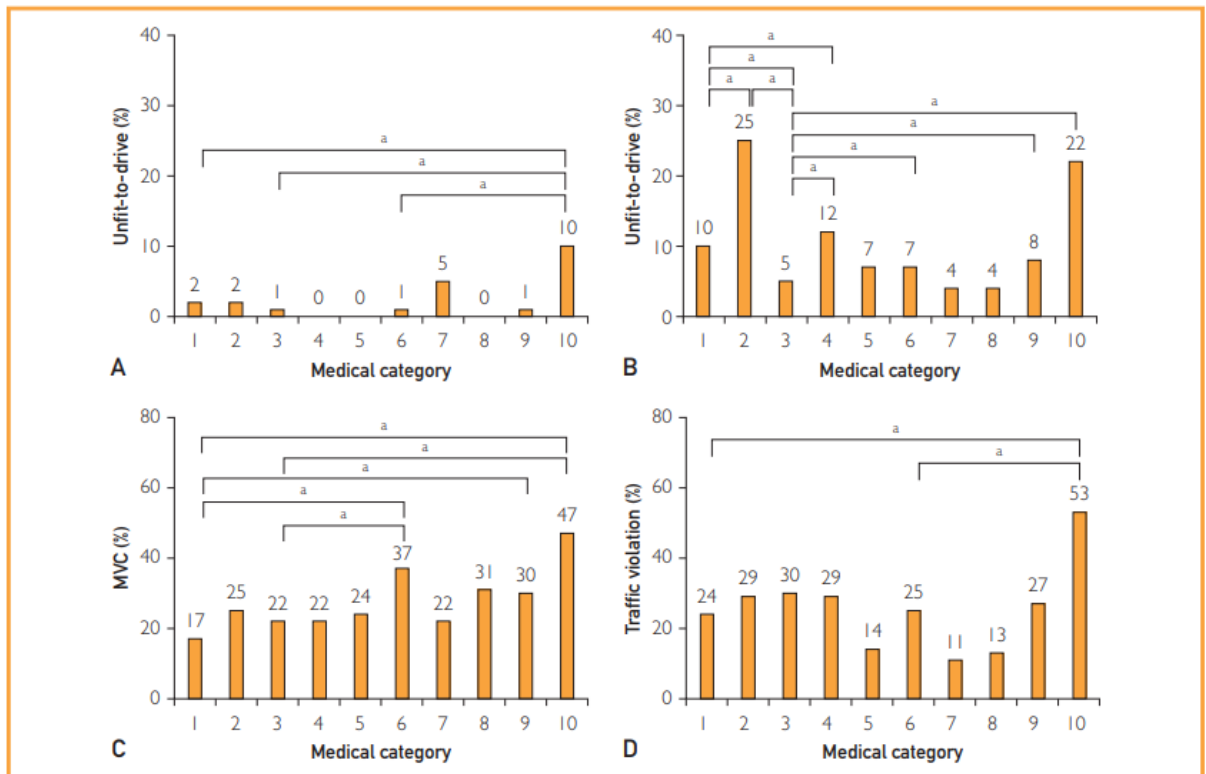
Ces travaux ont été menés en analysant les données rétrospectives des personnes venant pour une évaluation de la conduite au CARA, en Belgique. Ils nous ont permis 1) de dresser un état des lieux de la prise en charge pluridisciplinaire (bilan médical, bilan neuropsychologique, mise en situation sur route) en vue de recommander ou non la conduite automobile, 2) de comparer l'avis médical préconisé par le médecin à l'avis préconisé par le moniteur d'auto-école concernant l'aptitude à la conduite automobile et 3) de déterminer les facteurs cliniques, cognitifs ou de conduite favorisant ou non l'avis favorable d'aptitude à la conduite dans différentes populations.

3.1.1 Risque de conduite dangereuse selon le type d'affection médicale

Nous avons réalisé une étude qui avait pour objectif de comparer le risque de conduite dangereuse selon le type d'affection médicale (Moon et al., 2017). Cette étude permet de dresser un état des lieux des caractéristiques cliniques (ex. : sévérité de la maladie), démographiques (ex. : âge, genre), et de conduite (ex. : apte à la conduite avec ou sans restrictions) des personnes en fonction de leur affection médicale principale (Ranchet et al., 2015; Ranchet, Tant, Akinwuntan, Morgan, et al., 2016; Ranchet, Tant, Akinwuntan, Neal, et al., 2016).

Ce risque de conduite dangereuse était mesuré par 4 indicateurs : la recommandation d'aptitude à la conduite préconisée par le médecin référent (ex. : médecin traitant) ; la décision finale de l'aptitude à la conduite préconisée par l'équipe pluridisciplinaire ; le nombre d'accidents de la route déclarés, et le nombre d'infractions déclarées les 5 dernières années avant l'évaluation. Cette analyse a été réalisée auprès de 6 584 personnes évaluées au CARA en Belgique entre 2013 et 2014. La majorité des personnes (90%) étaient jugées aptes à conduire par l'équipe pluridisciplinaire. Les personnes qui étaient référées au centre pour une évaluation de la conduite étaient, pour la plupart, des personnes souffrant d'affections neurologiques (n =

4.837 ; 74%), ou musculosquelettiques (12%), ou encore psychiatriques (6%). La proportion de personnes référées au centre d'évaluation avec un problème d'abus de substance était minime (1%). Les résultats montrent que les personnes présentant une affection neurologique n'étaient pas considérées comme les plus à risque d'avoir une conduite dangereuse. Par rapport aux autres groupes d'affections médicales, l'abus de substance (consommation de médicaments et de drogues illicites) à des fins autres que médicales, représente le premier facteur de risque d'accidents (figure 9C). Les personnes ayant un trouble d'abus de substance sont celles qui ont un taux d'infractions déclarées plus élevé par rapport aux affections neurologiques ou aux affections cardiovasculaires ou pulmonaires (figure 9D). De façon similaire, les personnes qui sont dans la catégorie « abus de substance » ont un taux plus élevé d'avis défavorable (inaptitude à la conduite) de la part du médecin par rapport aux personnes ayant des affections neurologiques et cardiovasculaires ou pulmonaires (figure 9B). Les personnes ayant des affections psychiatriques ou qui ont des problèmes d'abus de substance ont des taux plus élevés d'avis défavorable de la part de l'équipe pluridisciplinaire (figure 9B). Les maladies cardiovasculaires ou pulmonaires et les troubles du sommeil représentent le deuxième et troisième facteur de risque d'accidents, en raison d'une somnolence ou d'une perte de connaissance soudaine (figure 9C). Les résultats de cette étude ont également montré que les 4 indicateurs utilisés évaluaient différents aspects de la conduite. Par exemple, les personnes ayant des affections psychiatriques ont plus de risque d'être inapte à la conduite de la part de l'équipe pluridisciplinaire (figure 9B) sans pour autant être considérées inapte à la conduite par le médecin (figure 9A).



Légende : A. Recommandation d'aptitude à la conduite par le médecin ; B. Recommandation d'aptitude à la conduite par l'équipe pluridisciplinaire ; C. Accidents de la route des 5 dernières années ; D. Infractions de la route des 5 dernières années

(1) affections neurologiques ; (2) affections psychiatriques ; (3) affections musculosquelettiques ; (4) affections visuelles ; (5) affections vestibulaires ou auditives ; (6) affections pulmonaires ou cardiovasculaires ; (7) affections du foie ou affections rénales ; (8) affections du sommeil ; (9) diabète ; (10) abus de substance

Figure 9. Pourcentage de conduite dangereuse en fonction du type d'affection médicale

Source : figure tirée de Moon et al. (2017)

J'ai également étudié plus finement la problématique de l'évaluation de l'aptitude à la conduite chez des personnes diagnostiquées avec une démence, principalement la maladie d'Alzheimer (Ranchet, Tant, Akinwuntan, Morgan, et al., 2016), des personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson (Ranchet, Tant, Akinwuntan, Neal, et al., 2016), des personnes victimes d'un accident vasculaire cérébral (Ranchet, Akinwuntan, Tant, et al., 2016), des personnes avec une sclérose en plaque (Ranchet et al., 2015) et des personnes âgées de plus de 55 ans présentant des affections médicales (ex. : maladies neurologiques, psychiatriques...) (Moon et al., 2018). Globalement, ces travaux ont montré un taux de désaccord marqué entre les médecins (généralistes ou spécialistes) et les évaluateurs sur route (très souvent des ergothérapeutes et moniteurs d'auto-écoles spécialisées) concernant l'aptitude à la conduite

chez les populations étudiées. Ces désaccords entre les professionnels étaient plus prononcés pour les personnes atteintes de démence. Les résultats montrent une faible concordance (43%) entre les évaluateurs sur route et les médecins concernant les trois catégories de recommandations d'aptitude à la conduite chez les personnes atteintes de démence (Ranchet, Tant, Akinwuntan, Morgan, et al., 2016). Si l'on compare l'avis des médecins à ceux des évaluateurs sur route, il apparaît que les médecins sont plus favorables à considérer une personne apte à conduire par rapport aux évaluateurs sur route. Ces avis non concordants montrent qu'un seul avis n'est pas suffisant et que l'évaluation de l'aptitude à la conduite doit être pluriprofessionnelle, c'est-à-dire tenir compte des recommandations conjointes des médecins, neuropsychologues, ergothérapeutes, et moniteurs d'autoécole.

Effet des comorbidités chez les conducteurs diagnostiqués avec la maladie de Parkinson

Je me suis intéressée aux effets des comorbidités dans la maladie de Parkinson sur les recommandations d'aptitude à la conduite faites par les évaluateurs sur route et les médecins (Ranchet, Tant, Akinwuntan, Neal, et al., 2016). Pour les 72 personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson, les quatre comorbidités les plus reportées étaient les maladies cardiovasculaires, les problèmes de vision et les problèmes auditifs, les maladies neurologiques autre que la maladie de Parkinson, et le diabète. Les résultats de cette étude montrent que les médecins se basent fortement sur la présence de comorbidités pour préconiser la recommandation d'aptitude à la conduite. En d'autres termes, les personnes présentant une ou plusieurs comorbidités étaient plus à risque d'être considérées inaptes à la conduite par le médecin.

Facteurs favorisant la reprise de la conduite suite à un AVC

Une autre étude menée chez 735 personnes ayant été victimes d'un AVC avait pour objectif d'identifier les facteurs cliniques, démographiques et de conduite qui expliquaient au mieux la recommandation d'aptitude à la conduite faite par le médecin ou l'évaluateur sur route (Ranchet, Akinwuntan, Tant, et al., 2016). Il apparaît que les professionnels ne se basent pas sur les mêmes critères pour formuler leur avis d'aptitude à la conduite. Les critères privilégiés par les médecins sont : le bilan des précédentes visites au centre d'évaluation et le nombre de comorbidités, alors que les facteurs privilégiés par les évaluateurs de la conduite sur route sont : l'âge, les précédentes visites au centre, l'acuité binoculaire, et l'expérience de conduite. Ces résultats démontrent bien que différents types de facteurs jouent un rôle sur l'avis d'aptitude à la conduite, ce qui rejoint les modèles multifactoriels proposés pour expliquer la performance

de conduite (Anstey et al., 2005; Lindstrom-Forneri et al., 2010). Ce constat souligne également l'importance d'une prise en charge pluriprofessionnelle lors des évaluations d'aptitude à la conduite (Ranchet, Akinwuntan, Tant, et al., 2016).

Avis d'aptitude à la conduite en fonction de l'âge du conducteur

Nous nous sommes également intéressés à la population de conducteurs très âgés (plus de 85 ans) qui venaient pour une évaluation de l'aptitude à la conduite au CARA (Moon et al., 2018). Les conducteurs très âgés sont plus à risque d'être considérés inaptes que les conducteurs âgés de 65 à 74 ans. Les conducteurs très âgés rapportent également moins de pathologies neurologiques que les conducteurs âgés entre 75 et 84 ans.

En général, c'est bien une équipe pluriprofessionnelle qui donne un avis d'aptitude à la conduite automobile et qui fait appel à différents outils pour évaluer l'aptitude à la conduite (ex. : tests neuropsychologiques ou mise en situation sur route à l'aide d'un véhicule d'auto-école). Ci-dessous, je décris différents outils qui peuvent être utilisés en complémentarité pour évaluer l'aptitude à la conduite.

3.2 Evaluation de l'aptitude à la conduite

3.2.1 Les tests neuropsychologiques

S'il n'existe pas de méthode standardisée pour évaluer l'aptitude à la conduite d'un conducteur, l'utilisation des tests neuropsychologiques peut être un moyen pour aider le médecin à conseiller le patient et son entourage dans la prise de décision de maintien ou d'arrêt de la conduite. Ces tests sont en général simples à utiliser et moins coûteux qu'une évaluation sur route. Néanmoins, le pourcentage de la variance expliquée par ces tests n'est pas suffisant pour permettre aux professionnels d'émettre un avis certain sur la capacité à conduire de la personne. Dans le cas de la maladie de Parkinson, il a été montré que les tests exécutifs et visuo-spatiaux peuvent être utilisés comme de bons indicateurs de la conduite (Amick, *et al.*, 2007b; Grace, *et al.*, 2005; Stolwyk, *et al.*, 2006a). Certains de nos travaux soulignent que le Trail Making Test est un bon indicateur des performances de conduite (Ranchet et al., 2011). Certains auteurs préconisent une combinaison de tests (cliniques ou neuropsychologiques), des questionnaires proposés à l'entourage (Cordell, *et al.*, 2008), et/ou une mise en situation sur simulateur de conduite (Devos, *et al.*, 2007).

3.2.2 Le simulateur de conduite

Le simulateur de conduite offre l'avantage d'évaluer le conducteur dans un environnement reproductible et contrôlé en assurant sa sécurité. Cet outil peut être complémentaire au bilan neuropsychologique, car il permet d'explorer les aspects dynamiques des aptitudes nécessaires à la conduite automobile. Une forte association entre les performances obtenues sur simulateur et celles sur route réelle a été démontrée, validant le simulateur comme étant un bon outil d'évaluation pour les conducteurs parkinsoniens (Lee, et al., 2007). En effet, cet outil permet de reproduire une situation de conduite et d'obtenir des données quantitatives comparables entre les personnes. De plus, il peut servir d'un outil d'aide à la décision, en appui au bilan neuropsychologique, pour déterminer l'aptitude à la conduite. Devos et al. (2007) suggèrent que l'évaluation sur le simulateur de conduite devrait être prise en compte pour décider du maintien ou de l'arrêt de la conduite chez les conducteurs parkinsoniens. Cet outil permet également d'observer des comportements plus discrets et spécifiques (point de décélération, point d'arrêt aux feux...) que ceux observés en situation de conduite réelle (Stolwyk, et al., 2006b). Le simulateur peut également être utilisé pour proposer des aménagements du véhicule (ex. : boule au volant, pédales inversées) aux personnes avec un handicap physique. C'est donc un outil d'évaluation et de réadaptation qui semble prometteur même si peu d'études ont prouvé son efficacité (Devos et al., 2016). Ceci peut être expliqué par la diversité des simulateurs, et l'hétérogénéité des études que ce soit au niveau des patients recrutés et des scénarios utilisés. Enfin, le simulateur peut être utilisé comme un outil pédagogique, pour aider les personnes à prendre conscience de leur difficultés de conduite ou à reprendre confiance en elles.

3.2.3 La mise en situation sur route

La mise en situation sur route reste l'examen le plus fiable. C'est un très bon moyen pour rendre compte des difficultés de conduite des personnes. Elle peut être réalisée sur route ouverte ou sur route fermée (ex. : parking, piste). Le parcours comprend généralement des situations de conduite fréquemment rencontrées (ex. : voie rapide, insertion dans le trafic, priorité à droite). Le moniteur d'auto-école et/ou l'ergothérapeute utilisent le plus souvent une grille d'observation pour coder le comportement de conduite. Cette dernière permet de déterminer plus finement le moment à partir duquel les personnes ne sont plus en mesure de conduire en toute sécurité. Même si l'évaluation sur route reste perçue comme le standard par excellence, son coût empêche de la considérer comme le premier choix d'évaluation des conducteurs âgés (Mathias & Lucas, 2009).

Après avoir expliqué les principaux résultats de mes travaux sur l'évaluation de la conduite, je présente dans la partie suivante mes recherches sur la maladie de Parkinson et la conduite automobile.

4. Maladie de Parkinson et conduite automobile

Une grande partie de mes recherches se sont intéressées à la maladie de Parkinson et aux répercussions de cette maladie sur l'activité de conduite automobile. Le contexte dans lequel s'inscrit ces recherches est tout d'abord présenté.

4.1 Accidentologie

Il y a encore peu de données épidémiologiques qui nous renseignent sur le risque réel d'accidents des conducteurs parkinsoniens (Homann et al., 2003). Il n'y a finalement pas de consensus sur le risque réel d'accident. D'un côté, certaines recherches sur simulateur de conduite rapportent un plus haut risque d'accidents chez les patients (Lings & Dupont, 1992; Zesiewicz et al., 2002), situés à des stades avancés de la maladie (stade 3 de l'échelle de Hoehn et Yahr) en comparaison à des patients aux stades moins avancés (stade 1) et à des personnes âgées contrôles (Dubinsky et al., 1991). Les accidents chez les conducteurs parkinsoniens sont aussi plus fréquents lorsque les conditions de visibilité sont mauvaises (Uc et al., 2009). En 2005, une enquête réalisée sur 6000 personnes atteintes de la maladie de Parkinson (dont 5000 avec permis de conduire) rapporte qu'au cours des cinq dernières années, 15 % des personnes ont été impliquées dans un accident avec un autre véhicule et 11 % ont causé un accident (Meindorfner et al., 2005). D'un autre côté, une étude prospective sur 106 patients et 130 contrôles révèle que le nombre d'accidents des conducteurs parkinsoniens ne diffère pas significativement de ceux des contrôles (Uc et al., 2011). Au contraire, le nombre de personnes ayant eu des accidents est plus important dans le groupe de contrôles que dans le groupe de patients (45 conducteurs contrôles contre 16 patients déclarent avoir eu au moins un accident). Une des explications proposées serait que les patients restreignent leur conduite et mettent en place des compensations stratégiques afin d'éviter les accidents. Ceci pourrait également s'expliquer par le fait que les conducteurs parkinsoniens, ayant conscience de leurs difficultés, s'arrêtent de conduire avant de provoquer un accident, en accord avec le modèle de Lindstrom-Forneri et al. (2010).

4.2 Arrêt de la conduite

En général, les personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson s'arrêtent de conduire plus tôt que les personnes âgées, contrôles, sans problèmes particuliers connus. En effet, la

maladie de Parkinson à elle-seule peut être un facteur d'arrêt de la conduite (Dubinsky et al., 1991; Klimkeit et al., 2009; Lafont et al., 2008; Meindorfner et al., 2005). Différentes raisons peuvent être associées à l'arrêt de la conduite comme l'anxiété d'être un danger et de provoquer un accident (McLay, 1989) ou l'impact des troubles cognitifs (Dubinsky et al., 1991; Uc et al., 2007). Les facteurs âge, durée de la maladie, troubles cognitifs (exécutifs et attentionnels), stade de sévérité de la maladie sont tous associés à l'arrêt de la conduite chez les patients parkinsoniens (Cubo et al., 2010). Meindorfner *et al.* (2005) listent les mêmes facteurs en y ajoutant le genre (femme) et la somnolence diurne. Une étude longitudinale montre que, après ajustement de la période de suivi, il y a significativement plus de conducteurs parkinsoniens qui ont arrêté de conduire par rapport aux contrôles (Uc et al., 2017). Si les données sur les accidents sont controversées, il semble que les conducteurs parkinsoniens s'arrêtent en général d'eux-mêmes. Qu'en est-il du comportement en conduite d'une personne atteinte de la maladie de Parkinson ?

4.3 Comportement du conducteur atteint de la maladie de Parkinson

En général, les patients conduisent pendant les dix premières années de leur maladie. Ils sont globalement à des stades I à III de l'échelle de Hoehn et Yahr (1967). Les revues de littérature auxquelles j'ai participé résument les difficultés de conduite des conducteurs parkinsoniens (Devos et al., 2015; Ranchet, Devos, et al., 2020) : Ils ont des difficultés pour adapter leur vitesse, changer de voie, anticiper et répondre aux événements. Ils ont également des difficultés pour maintenir le véhicule dans la voie. Ils commettent des erreurs aussi bien au niveau tactique (ex : ajuster la vitesse en fonction de la situation) qu'au niveau opérationnel (ex. : freiner). Dans notre étude sur route menée chez 21 personnes contrôles et 19 personnes aux stades débutant à modéré de la maladie de Parkinson, nos données comportementales (*i.e* les données de conduite issues d'un véhicule instrumenté) ont confirmé les résultats de la littérature notamment en référence au modèle de Michon (1985) : les patients faisaient plus d'erreurs d'ordre tactique et opérationnel que les contrôles (Ranchet et al., 2013). Les patients ont également plus de difficultés de conduite quand ils réalisent une tâche secondaire (situation de double tâche), comme identifier des panneaux (Uc et al., 2006b), ou en présence d'une tâche distractive (Uc et al., 2006a) ou encore en présence d'une tâche de recherche d'itinéraire (Uc et al., 2007). Une plus grande proportion de conducteurs commet des erreurs stratégiques pendant la tâche de suivi d'itinéraire : les patients se trompent plus facilement pendant le trajet (ex. : tournant trop tôt, trop tard ou dans la mauvaise direction), se perdent ou réalisent des erreurs « de sécurité ». Ils mettent aussi plus de temps pour terminer le parcours.

L'observation des comportements de conduite des personnes présentant une maladie de Parkinson nous conduit à nous interroger sur les causes sous-jacentes. Nous savons que les facteurs visuels, cognitifs, moteurs ainsi que la somnolence diurne jouent un rôle majeur dans la capacité à conduire de manière sécuritaire. Je présenterai ci-dessous mes recherches qui avaient pour objectif de déterminer l'implication des fonctions exécutives dans la conduite automobile chez des conducteurs aux stades débutant à modéré de la maladie de Parkinson.

4.3.1 Rôle des fonctions exécutives dans la conduite automobile

Mes recherches réalisées lors de la thèse ont montré un déficit de mise à jour des informations en mémoire de travail chez 25 conducteurs parkinsoniens, mais pas de déficit de flexibilité. Ces résultats ont été observés à la fois au niveau des tests neuropsychologiques et pendant les tâches de conduite sur simulateur (Ranchet et al., 2011). Les patients étaient en moyenne à 6,4 années de la maladie et à des stades relativement débutants de la maladie ($\approx 1,8$ de l'échelle de Hoehn et Yahr (1967)). Dans la littérature, il existe peu de résultats qui illustrent directement cette relation entre déficit de mise à jour et maladie de Parkinson. Les données de la littérature présentent plutôt des déficits dans les tâches évaluant la mémoire de travail spatiale impliquant le processus de mise à jour (Owen, 1997; Postle, Jonides, et al., 1997; Postle, Locascio, et al., 1997). La relation qui est plus largement observée en revanche, est celle qui concerne un déficit du processus de planification. Nous avons ainsi émis l'hypothèse selon laquelle ce serait peut-être une composante de la planification, en l'occurrence la mise à jour, qui serait touchée en premier lieu et qui pourrait altérer le processus de planification, et ce, très précocement dans la maladie (Ranchet et al., 2011). Lorsque les participants exécutaient la tâche de mise à jour, les performances de conduite (vitesse et variabilité de la vitesse) étaient plus dégradées que lorsqu'ils réalisaient la tâche de flexibilité. Les résultats convergents entre les tests neuropsychologiques et les tâches sur simulateur de conduite confirment la pertinence du matériel utilisé (choix des tests et choix des scénarios de conduite). Cette première étude a conduit à s'interroger sur le déclin au cours du temps des fonctions exécutives dans la maladie de Parkinson et son influence sur la conduite. Seize patients de la première étude et 21 contrôles étaient réévalués dans les mêmes conditions deux ans après (Ranchet, Broussolle, & Paire-Ficout, 2016). Les participants étaient tous des conducteurs actifs. Deux ans après, les patients s'autoévaluaient moins bien que les contrôles, suggérant un sentiment de baisse de performance de la part des patients concernant leur activité de conduite. De plus, à 2 ans (t2), le déficit de mise à jour est plus discret chez les patients puisqu'il apparaît uniquement lors de la tâche sur simulateur de conduite. En conclusion, la mise à jour est plus touchée par la progression sur

deux ans du vieillissement normal que par l'évolution de la maladie de Parkinson. Le processus de flexibilité a significativement décliné à t2 chez les patients par rapport à t0 suggérant que ce processus est plus touché par la progression de la maladie de Parkinson que par celle du vieillissement normal. En l'espace de deux ans, des changements dans les habitudes de conduite chez les conducteurs parkinsoniens apparaissent : Ils évitent plus de situations, parcourent moins de kilomètres et ont plus de difficultés à conduire en ville. De plus, ces changements dans les habitudes de conduite sont associés au déclin au cours du temps de la flexibilité, c'est-à-dire que les conducteurs qui connaissent un fort déclin de la flexibilité sont ceux qui déclarent le plus de difficultés en conduite.

En résumé, nous avons montré que la mise à jour des informations en mémoire de travail est touchée plus précocement que la flexibilité mentale dans la maladie de Parkinson. Aussi, cet argument est en faveur de la dissociation des fonctions exécutives (Collette et al., 2005; Miyake et al., 2000). Après avoir mieux caractérisé la nature du déficit exécutif et son évolution, nous souhaitons connaître l'implication des fonctions exécutives sur le comportement de conducteurs parkinsoniens dans une situation naturelle de conduite. Les principaux résultats ont montré que les tests évaluant l'état cognitif global, la vitesse psychomotrice, la flexibilité, la mise à jour et les capacités visuo-spatiales distinguaient les conducteurs à risque (n = 8) des conducteurs sécuritaires (n = 32). Les conducteurs étaient considérés à risque lorsqu'ils se situaient dans les 10% de personnes avec un faible score dans au moins un des 3 indicateurs de performance de conduite (score de pénalités, score à la grille TRIP, nombre d'interventions). De plus, nous avons montré que les capacités visuospatiales et la mise à jour jouent un rôle important dans la capacité de conduite chez tous les participants. En ce qui concerne le groupe de personnes avec la maladie de Parkinson, les conducteurs à risque étaient ceux qui avaient des performances détériorées aux tests évaluant la mise à jour et la flexibilité par rapport aux conducteurs sécuritaires. Ceci souligne alors la très forte implication des fonctions exécutives pour déterminer la capacité à conduire d'une personne présentant une maladie de Parkinson.

Globalement, ces études menées dans le cadre de mon travail de thèse ont contribué à une meilleure connaissance des fonctions cognitives, notamment des fonctions exécutives, de leur évolution et de leurs implications dans la conduite automobile chez des personnes atteintes de la maladie de Parkinson.

De manière plus globale, nous avons, lors de mon post-doctorat à Augusta University, réalisé une revue de littérature regroupant toutes les études sur route chez des conducteurs atteints de

la maladie de Parkinson (Devos et al., 2015). Celle-ci nous a permis d'identifier les fonctions cognitives, visuelles, et motrices altérées par la maladie de Parkinson et les difficultés observées en conduite. Nous avons ainsi mis en relation des performances de conduite dégradées en se basant sur les niveaux opérationnel, tactique, et stratégique du modèle de Michon (1985) avec des troubles cognitifs, visuels ou moteurs spécifiques. Cette revue de littérature nous a permis de proposer un cadre conceptuel pour la réadaptation de la conduite dans la maladie de Parkinson (Devos et al., 2015).

Enfin, ces recherches ont permis de mieux comprendre l'implication des fonctions cognitives en conduite automobile dans la maladie de Parkinson. Identifier au plus tôt un déficit au niveau des fonctions cognitives pourrait permettre de diagnostiquer plus précocement une maladie de Parkinson et de la prendre en charge à temps. Par ailleurs, il a été démontré que des changements au niveau neurophysiologique pouvaient prédire un déclin cognitif futur (Ahmadlou et al., 2014; Maestu, 2008). Ces changements peuvent refléter la charge cognitive, c'est-à-dire le niveau de ressources cognitives utilisé par la personne pour réaliser la tâche. Dans le prochain paragraphe, je décrirai nos travaux réalisés sur la mesure de la charge cognitive dans la maladie de Parkinson.

4.3.2 La charge cognitive dans la maladie de Parkinson

Au début de la maladie, avant l'apparition des premiers symptômes cognitifs, les patients ont besoin de plus de ressources cognitives que les personnes sans pathologie pour réaliser des tâches complexes. Cette quantité de ressources cognitives correspond à la charge cognitive, mesurée à l'aide d'indicateurs physiologiques. La charge cognitive est souvent définie comme l'effort mental engagé par la personne pendant une tâche (Kahneman, 1973). La notion de charge cognitive peut aussi se définir par *la charge mentale* ou *l'effort cognitif*. Dans ce contexte, nous avons donc réalisé une revue de littérature permettant de faire un point sur les technologies émergentes qui pourraient être utilisées pour mesurer la charge cognitive dans le domaine de la mobilité (Ranchet, Morgan, et al., 2017). A partir de notre revue de littérature, nous avons étudié la charge cognitive en utilisant des données issues de la pupille (réponses pupillaires) afin d'identifier des déficits subtils chez des personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson, qui n'étaient pas détectables par des tests classiques (Ranchet, Orlosky, et al., 2017). Les changements de taille de la pupille peuvent en effet être utilisés comme mesure directe de la charge cognitive. La réponse de la pupille n'indique pas seulement l'activité mentale mais elle est également fortement corrélée à la difficulté du problème à résoudre. Dans

une première étude, nous avons montré que la charge cognitive, mesurée par les réponses pupillaires (« *Task-evoked pupillary responses* ») permettaient de distinguer chez les personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson celles présentant des déficits cognitifs (score à la MOCA < 26) de celles ne présentant pas de déficits cognitifs (Ranchet, Orlosky, et al., 2017). En effet, pendant une tâche de prosaccades, les patients avec des déficits cognitifs avaient une charge cognitive plus élevée (notamment au niveau de la réponse pupillaire observée sur l'œil droit), en comparaison aux patients qui n'avaient pas de déficits cognitifs apparents. Les réponses pupillaires de l'œil droit semblent donc refléter des changements cognitifs subtils entre les groupes pendant la tâche de prosaccades. Dans cette même étude, nous nous sommes également intéressés à étudier les performances de recherche visuelle de panneaux ou de voitures pendant la conduite sur simulateur chez des patients parkinsoniens (Ranchet, Morgan, et al., 2020). Pendant cette tâche, la charge cognitive était mesurée par les réponses pupillaires. Lorsque les participants réalisaient correctement la tâche de recherche visuelle de panneaux ou de voitures, aucune différence significative n'était trouvée au niveau des valeurs mesurant la charge cognitive entre le groupe de patients parkinsoniens et le groupe contrôle, ce qui suggère que le groupe de patients n'avait pas plus besoin de ressources cognitives que le groupe contrôle pour réaliser correctement la tâche de recherche visuelle. Sur le plan clinique, nous avons également travaillé avec Dr Orlosky (Osaka University) pour développer un casque de réalité virtuelle qui pourrait servir d'aide au diagnostic grâce à l'enregistrement des mesures pupillaires (Orlosky et al., 2017).

Enfin, la question de la sécurité routière chez les conducteurs parkinsoniens reste ouverte. La littérature fait état de leurs difficultés en conduite automobile. Néanmoins, sur la totalité d'un groupe, les conducteurs considérés comme dangereux sont en minorité (Devos et al., 2007). Il est aussi possible que les patients adoptent des stratégies compensatoires pour pallier leurs déficits. Par exemple, ils évitent certaines situations de conduite, comme la conduite dans de faibles conditions de visibilité (conduite de nuit, sous la pluie) ou la conduite dans des situations complexes, par exemple en ville. Les patients déclarent également éviter les heures de pointe et conduire sur des routes familières (Heikkilä et al., 1998). Ils peuvent aussi changer leur boîtier de vitesse (passage d'une voiture avec boîte manuelle à une boîte à transmission automatique) ou apporter une autre adaptation technique à l'intérieur du véhicule.

Ce qu'il faut retenir de ce chapitre qui résume en grande partie mes travaux sur la conduite automobile est qu'il est important d'évaluer avec précision les compétences au volant réelles du conducteur et les éléments adaptatifs qui pourraient faire en sorte que celui-ci maintienne plus longtemps sa mobilité (permis de conduire avec restriction par exemple). Les modèles multifactoriels de la conduite permettent de comprendre les facteurs qui jouent un rôle important dans la capacité à conduire. Outre les facteurs cognitifs, moteurs et sensoriels qui contribuent à la capacité à conduire, il faut également prendre en compte la conscience qu'à l'individu de ses propres difficultés. Cette composante est importante puisque si la personne est consciente de ses difficultés, elle peut adapter son comportement de conduite en réduisant, par exemple, sa vitesse ou en choisissant de conduire sur des trajets familiers. Nous avons également vu que les mesures physiologiques, telles que la réponse pupillaire sont intéressantes à prendre en compte pour détecter plus précocement des déficits subtils qui n'apparaissent pas forcément au niveau des mesures comportementales. Une revue de littérature à laquelle j'ai participé souligne aussi l'importance de prendre en compte les performances au niveau de la tâche (performances comportementales) en plus des mesures neurophysiologiques pour mieux interpréter les résultats (Kahya et al., 2019). De plus, les mesures neurophysiologiques pourraient permettre d'identifier plus précocement un déficit cognitif et de mieux comprendre les ressources cognitives disponibles pour réaliser une tâche. Il est également important de déterminer au mieux dans quelle mesure une personne n'est plus à même de conduire et de l'accompagner vers une autre forme de mobilité. Il est maintenant bien admis que l'arrêt brutal de la conduite automobile a des conséquences majeures sur la santé de la personne surtout si elle s'accompagne d'une restriction de la mobilité.

Dans le chapitre suivant, je m'intéresse à la marche dans le vieillissement normal et pathologique qui est un mode de mobilité active faisant partie intégrante de notre vie quotidienne.

Chapitre 3. Effet du vieillissement et de la pathologie sur la marche

La marche est souvent considérée comme une tâche automatique, mais en réalité, il s'agit d'un comportement moteur complexe où la cognition intervient même dans des conditions simples de déplacement, notamment chez les personnes âgées. En particulier, les fonctions exécutives jouent un rôle majeur dans la marche chez les personnes âgées et celles qui ont des problèmes de mobilité ou des déficits cognitifs (Wagshul et al., 2019). Elles ont en général plus de difficultés pour se déplacer à pied et ont un risque de chute plus important. Ces difficultés sont davantage prononcées chez des personnes présentant une maladie de Parkinson, par exemple (Pelicioni et al., 2021). Les troubles de la marche et les chutes deviennent donc un problème majeur de santé publique de par leurs conséquences en termes de perte d'autonomie et de coûts de prise en charge.

Les recherches des dix dernières années ont identifié, dans le vieillissement normal ou pathologique, les facteurs qui pourraient prédire une dégradation au niveau de la marche ou un risque de chute accru. Les caractéristiques démographiques et cliniques (genre, âge, état de santé), les fonctions cognitives et notamment les fonctions exécutives (Tournier et al., 2016), les variables métacognitives, comme la conscience des déficits (Delbaere et al., 2010; Dommes et al., 2015), les troubles spécifiques au niveau des paramètres de marche (Vallée et al., 2015), et les changements physiologiques (Hamacher et al., 2015) sont des facteurs qui peuvent contribuer à prédire des altérations au niveau de la marche et plus largement un risque de chute. Parmi l'ensemble de ces facteurs, les changements neurophysiologiques sont encore relativement peu explorés, notamment dans le vieillissement normal et pathologique (pour une revue de littérature, voir Kahya et al., 2019).

1. La marche chez la personne âgée

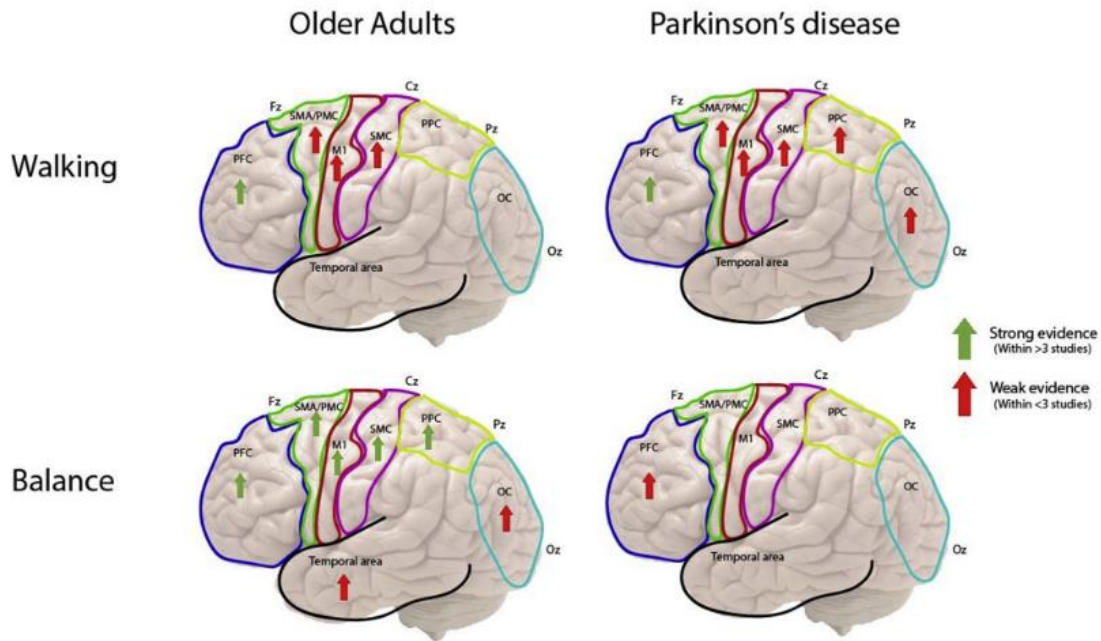
Les troubles de marche, et en définitive les chutes, sont associées à des modifications structurales cérébrales (baisse du volume hippocampique et du cortex antérieur) et à un déclin cognitif. Une des méthodes pour évaluer le risque de chute est donc de mesurer les changements au niveau de la performance motrice en condition de double tâche : pendant la marche, la personne réalise en même temps une tâche cognitive. En effet, la littérature montre que les personnes âgées ont une vitesse de marche réduite, font des plus petites longueurs d'enjambée et ont une plus grande variabilité de la vitesse lors de la marche en double tâche (Al-Yahya et al., 2011; Hamacher et al., 2014). Certains troubles de la marche ont pu être associés à des changements au niveau de l'activité cérébrale de plusieurs régions. Dans les paragraphes

suivants, je décris nos recherches menées sur les mécanismes cérébraux impliqués dans la marche au cours du vieillissement normal et dans la maladie de Parkinson.

1.1 Aires cérébrales impliquées pendant la marche

Un certain nombre d'études en IRMf ont cherché à déterminer les aires cérébrales impliquées lors de la marche chez les personnes âgées (pour une revue, voir Hamacher et al. (2015)). Les contraintes imposées par cette technique d'imagerie impliquent un protocole de marche dans lequel la personne doit s'imaginer en train de marcher. La marche est associée à une augmentation de l'activité cérébrale dans les structures sous-corticales et corticales, telles que l'aire motrice supplémentaire, le cortex moteur primaire, le cortex préfrontal, le cortex prémoteur, le cortex cingulaire, le gyrus temporal, le cortex occipital, pariétal, le thalamus, le precuneus/cuneus, le gyrus parahippocampique, le putamen, le globus pallidus, la région locomotrice mésencéphalique et le cervelet.

Comme l'IRMf nécessite d'être allongée et que la tâche de marche est en général imaginée, la question se pose de savoir si les régions activées sont les mêmes que celles qui s'activent pendant une tâche de marche réelle. Grâce à la fNIRS, il est possible de mesurer l'activité cérébrale au niveau des régions corticales pendant que la personne est en train de marcher. Un des objectifs d'une récente revue de littérature visait à regrouper toutes les études en fNIRS ou en EEG qui étudiaient l'activité corticale pendant la marche en temps réel ou pendant les tâches d'équilibre chez les personnes âgées et les personnes présentant la maladie de Parkinson (Stuart et al., 2018). La figure 10 présente une vue d'ensemble de l'activation corticale enregistrée à partir de la fNIRS et l'EEG pendant les tâches de marche et d'équilibre chez les personnes âgées et la maladie de Parkinson.



Les flèches représentent les résultats d'une activité corticale accrue au cours de différentes tâches de marche ou d'équilibre dans des régions cérébrales spécifiques. Les flèches vertes indiquent qu'il y a plus de 3 études qui ont montré une activité corticale accrue (preuve solide). Les flèches rouges indiquent qu'il y a moins de 3 études qui ont montré une activité corticale accrue (preuve faible).

Figure 10. Vue d'ensemble de l'activation corticale enregistrée à partir de la fNIRS et l'EEG pendant les tâches de marche et d'équilibre chez les personnes âgées et la maladie de Parkinson.

Source : figure tirée de Stuart et al. (2018)

Comme présenté dans la figure 10, la majorité des études en fNIRS ou EEG ont étudié le cortex préfrontal, siège des fonctions exécutives.

1.2 Rôle du cortex préfrontal

Généralement, les études qui se sont intéressées à la mesure de l'activité corticale pendant la marche au cours du vieillissement se sont plutôt focalisées sur la marche en double tâche (Kahya et al., 2019). Les performances de marche en double tâche ont souvent été considérées comme prédicteur d'un risque de chute. Les recherches qui ont étudié les effets du vieillissement sur l'activité préfrontale pendant la marche en double tâche ont trouvé des résultats contradictoires. Une étude a trouvé une augmentation de l'activité préfrontale chez les personnes âgées pendant la marche en simple et double tâche (Mirelman et al., 2017). Dans ce cas, cela peut être expliqué par le fait que les personnes mettent en place des processus de compensation en sollicitant davantage leurs ressources cognitives pour pallier à la perte de l'automatisme de la marche. D'autres études n'observent pas forcément de différences au niveau

de l'activité préfrontale pendant la marche en double tâche entre les personnes jeunes et les personnes âgées (Fraser et al., 2016; Stuart, Belluscio, et al., 2019; Takeuchi et al., 2016). D'autres ont même trouvé une plus faible activité préfrontale lors de la marche en double tâche chez les personnes âgées (Beurskens et al., 2014; Holtzer et al., 2011). Une plus faible activité préfrontale observée pendant la marche en double tâche pourrait être expliquée par le fait que les personnes n'ont pas suffisamment de ressources cognitives disponibles par rapport à la difficulté de la double tâche. Le fait que les résultats diffèrent entre les études peut être également liés aux caractéristiques démographiques de la population (ex. : âge) ou au type de protocole utilisé (ex : marche sur tapis roulant ou marche sur le terrain). Les résultats de l'étude de Nóbrega-Sousa (2020), reflétés par la figure 11 ci-dessous, montrent bien que les effets du vieillissement sur le cortex préfrontal et les paramètres de marche évoluent selon l'âge. Dans cette étude, 88 individus répartis en 6 groupes d'âge ont réalisé plusieurs conditions de marche variant en complexité : marche simple, traversée d'obstacles et marche en double tâche (tâche de vigilance).

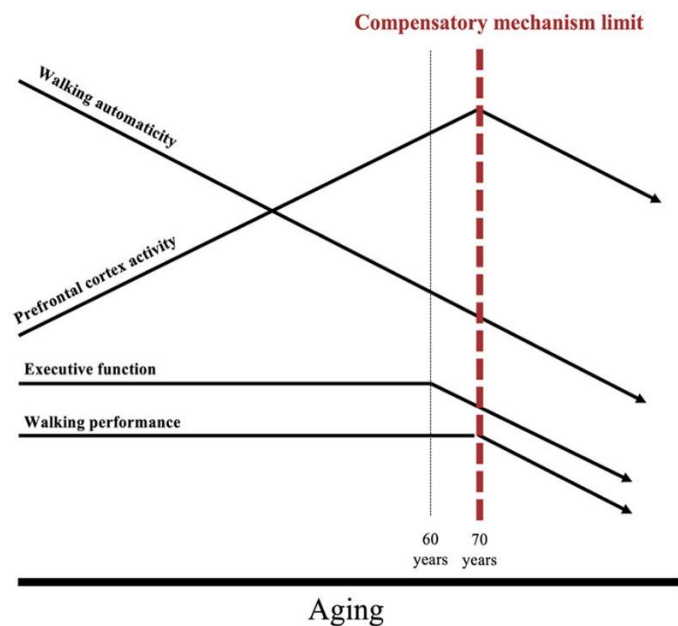


Figure 11. Illustration des résultats actuels concernant les effets du vieillissement sur l'activité du cortex préfrontal pendant la marche, les fonctions exécutives, et la performance de marche.

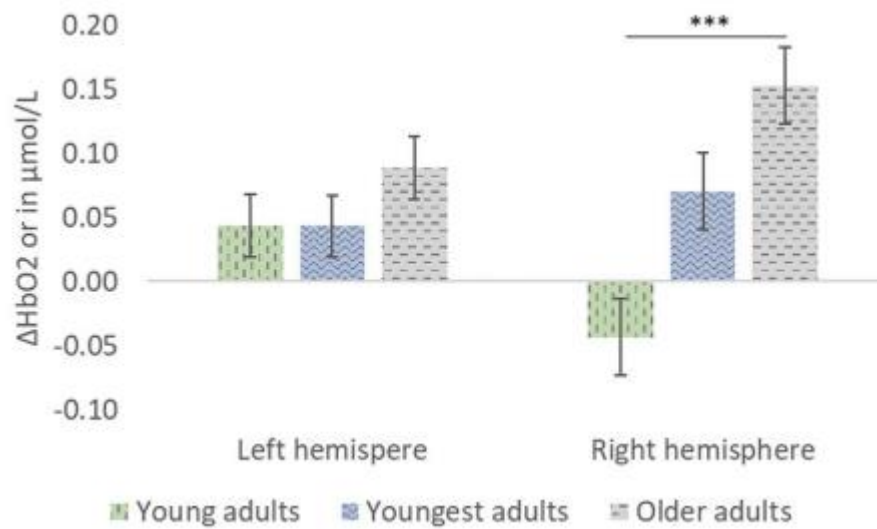
Source : figure tirée de Nóbrega-Sousa et al. (2020)

Les auteurs de cette étude concluent qu'à partir de 70 ans, les mécanismes compensatoires (*i.e* une augmentation de l'activité préfrontale) atteignent un effet plafond, en même temps que des troubles de la marche et des fonctions exécutives sont observés. Dans le cadre de la thèse

d'Isabelle Hoang que j'ai co-encadré (2019-2022) et du projet PARACHUTE, nous avons étudié les changements d'activité préfrontale pendant la marche au cours du vieillissement. Le protocole expérimental comprenait une consultation médicale, une évaluation neuropsychologique, une tâche de marche, ainsi que des questionnaires (Hoang, 2021). La tâche de marche comportait trois conditions : 1) la marche en simple tâche dans laquelle le participant devait marcher à une vitesse confortable (habituelle), 2) la marche en double tâche « facile » dans laquelle le participant devait marcher à une vitesse confortable en réalisant une tâche de comptage à voix haute: ajouter 1 à partir d'un nombre à trois chiffres, et 3) la marche en double tâche « difficile » dans laquelle le participant devait marcher à une vitesse confortable tout en soustrayant 7 à partir d'un nombre à trois chiffres. Une tâche de soustraction en condition debout a été ajoutée pour mesurer l'activité préfrontale pendant une tâche cognitive seule. Pour les conditions de double tâche, aucune instruction de priorisation n'était donnée aux participants. L'ordre des différentes conditions a été randomisé au sein de chaque groupe. Pendant la tâche de marche, les participants étaient équipés de la fNIRS (NIRSport, NIRx Medical technologies, LLC) qui mesurait l'activité préfrontale et de capteurs de marche (Physiolog, GaitUp, S.A.) qui enregistraient les paramètres de marche. Le parcours de marche était de forme ovale composé de deux lignes droites de 4 mètres ainsi que deux demi-cercles de 2,3 mètres de rayon. Le design expérimental est de type bloc où chaque condition comprenait cinq répétitions de 30 secondes de tâche et 30 secondes de repos. Les phases de repos variaient de plus ou moins 5 secondes afin de limiter les effets d'anticipation de la part des participants mais également d'éviter que le signal hémodynamique ne se superpose au signal physiologique systémique. Chaque condition était précédée de 45 secondes de repos afin que l'activité cérébrale revienne à son niveau de base à la suite des consignes données par l'expérimentateur. Au total, chacune des conditions durait 5 minutes 45 secondes.

Nous avons réalisé une étude visant à étudier les changements au niveau de l'activité préfrontale au cours du vieillissement (Hoang, Paire-Ficout, et al., 2022). Pour cela, 25 jeunes (18-37 ans), 25 personnes jeunes âgées (55-65 ans), et 25 personnes âgées (67-87 ans) ont participé. La tâche de marche simple et la tâche de marche en double tâche (soustraire 7 à chaque nombre) ont été plus spécifiquement explorées. Globalement, les personnes âgées ont une activité préfrontale plus élevée que les personnes jeunes au niveau de l'hémisphère droit (voir figure 12). Ils ont une activité cérébrale moins latéralisée par rapport à celle des personnes jeunes. Cela suggère que les personnes âgées ont recruté davantage des ressources cognitives

au niveau du cortex préfrontal, pour compenser les déficits neurocognitifs liés à l'âge, ce qui est en accord avec le modèle HAROLD.



*** $P < 0.001$

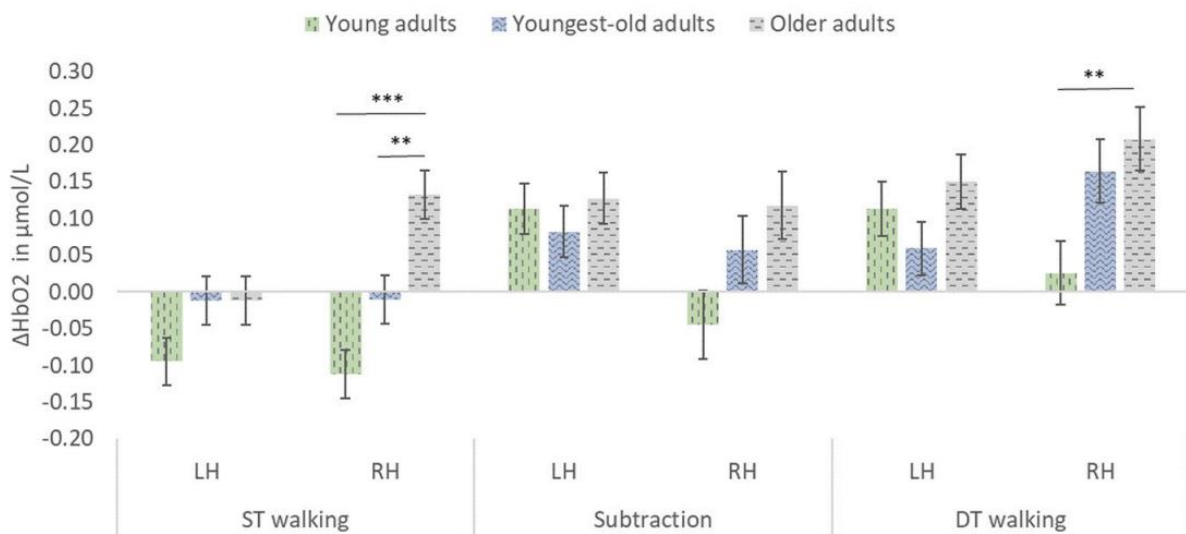
Figure 12. Changements globaux en hémoglobine oxygénée (ΔHbO_2) pour chaque hémisphère et pour chaque groupe

Source : figure tirée de Hoang et al. (2022)

Les résultats de cette étude ont montré que lors de la marche simple, les personnes âgées ont une plus forte activité préfrontale que les deux autres groupes. Ces résultats suggèrent que les personnes âgées ont recruté des ressources cognitives supplémentaires pour réaliser la tâche de marche simple avec des performances de marche équivalentes à celles des jeunes. Ces résultats vont bien dans le sens des modèles CRUNCH et STAC : ce *pattern* (augmentation de l'activité corticale associée à des performances de marche équivalentes à celles des jeunes) est considéré comme un mécanisme de compensation réussie. En revanche, lors de la marche en double tâche, nous n'avons pas montré des différences au niveau de l'activité préfrontale entre les personnes âgées et les deux autres groupes, ce qui corrobore les résultats de la plupart des études antérieures sur la mesure de l'activité préfrontale pendant la marche complexe (pour une revue, voir Pelicioni et al., 2019) Cela peut être expliqué par le fait que les personnes âgées ont déjà atteint leurs limites en termes de ressources cognitives dès la marche simple. Cette augmentation de l'activité préfrontale pendant la marche simple était principalement localisée au niveau de l'hémisphère droit (voir figure 13). D'après la littérature, la latéralisation du lobe frontal a été étudiée, indiquant une organisation asymétrique de la mémoire de travail spatiale et verbale. Les tâches de stockage spatial ont été associées avec une activation prédominante

du lobe frontal droit (Awh et al., 1998, cité dans Maidan et al., 2016). De plus, le cortex préfrontal droit est également associé aux tâches de planification (Kaller et al., 2011). Une autre étude menée chez des personnes jeunes a montré que l'hémisphère droit était impliqué dans la stabilisation de la marche (Takeuchi et al., 2016). D'ailleurs, dans notre étude, nous avons montré qu'une plus forte activité corticale au niveau du cortex préfrontal droit était associée à une plus forte variabilité au niveau du temps d'enjambée. Ces résultats rejoignent ceux de Mirelman et al. (2017) qui montrent qu'une activité préfrontale élevée est associée à une augmentation de la variabilité au niveau de la marche.

Concernant les personnes jeunes-âgées, nous avons montré qu'ils ne sollicitaient pas forcément les ressources cognitives pour réaliser la tâche de marche simple. En effet, nous avons plutôt observé un pattern identique à celui des jeunes au niveau de l'activité préfrontale (voir figure 13 ci-dessous). En revanche, les personnes jeunes-âgées ont une plus forte activité préfrontale, se rapprochant de celle des personnes âgées, lors la marche en double tâche.



* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

Les barres verticales représentent les erreurs standard.

Figure 13. ΔHbO_2 moyen pour chaque groupe et chaque hémisphère pour chaque tâche de marche.

Pour résumer, nous avons montré dans notre étude que les personnes âgées sollicitaient davantage leurs ressources cognitives que les personnes jeunes et jeunes-âgées dès la marche simple, avec des performances de marche équivalentes à celles des jeunes. De plus, le groupe de personnes jeunes-âgées est considéré ici comme un groupe intermédiaire, puisqu'ils ont un

niveau d'activité préfrontale similaire à celui des personnes jeunes pendant la tâche de marche simple, et un niveau d'activité préfrontale se rapprochant plus de celui des personnes âgées pendant la tâche de marche en double tâche. Par rapport à la littérature, cette étude permet de mieux comprendre l'activité préfrontale pendant la marche dans une population de personnes jeunes-âgées, encore relativement peu exploré jusqu'à maintenant.

Ces travaux ont été réalisés dans une population de personnes, sans troubles neurologiques connus. Il est intéressant également d'explorer la marche et l'activité préfrontale dans une population de personnes présentant une maladie neuro-évolutive, comme les personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson.

2. La marche chez les personnes présentant une maladie de Parkinson

Dans la maladie de Parkinson, la perte précoce de la dopamine dans les régions caudales des ganglions de la base a pour conséquence une perte de l'automatisme du mouvement, entraînant les troubles de la marche. Ces troubles se reflètent généralement par de la marche à petits pas, des pas asymétriques, larges et courts, une vitesse de marche ralentie et une augmentation au niveau de la variabilité des pas (Hausdorff, 2009; Mirelman et al., 2019). Cela peut également engendrer du « freezing » (enrayage cinétique) et une festination, c'est-à-dire une tendance à marcher plus vite de façon à éviter la chute en avant. Ces troubles peuvent perturber les activités de la vie quotidienne et mener à une augmentation du risque de chute. Cela a donc un retentissement majeur sur la qualité de vie des personnes, avec une perte d'indépendance (Hausdorff, 2009; Muslimovic et al., 2008).

2.1 Aires cérébrales impliquées dans la marche

Une étude en IRMf utilisant de la réalité virtuelle a montré que pendant une tâche de marche simple et une tâche de négociation d'obstacles, les patients présentaient une plus forte activation au niveau des régions frontales, pariétales, temporales, et occipitales par rapport aux personnes âgées, contrôles (Maidan, Rosenberg-Katz, et al., 2016). Les patients activaient plus le réseau fronto-pariétal droit et le cortex visuo-occipital par rapport aux personnes âgées, contrôles (Maidan, Rosenberg-Katz, et al., 2016). Ces résultats peuvent suggérer que les patients mettent en place des mécanismes de compensation pour réaliser les tâches compte tenu de leur déclin cognitif. Cela peut aussi montrer une plus faible efficacité de leur réseau neuronal. Dans une autre étude en IRMf, les personnes avec la maladie de Parkinson présentaient une réduction de l'activité cérébrale pendant la marche imaginée au niveau du globus pallidus situé dans

l'hémisphère gauche, probablement associé avec un dysfonctionnement locomoteur (Peterson et al., 2014).

2.2 Rôle du cortex préfrontal

Comme la maladie de Parkinson entraîne une dégénérescence des réseaux neuronaux associés à l'automatisme du mouvement, les personnes vont compenser en recrutant davantage de ressources au niveau du cortex préfrontal. Cela se traduit par une plus forte activité corticale au niveau du cortex préfrontal, même pendant une tâche de marche simple (Maidan, Nieuwhof, et al., 2016; Orcioli-Silva et al., 2020; Stuart et al., 2018; Stuart, Belluscio, et al., 2019). Ces résultats vont également dans le sens de notre étude réalisée en 2020, dans laquelle 18 patients diagnostiqués avec la maladie de Parkinson et 18 personnes âgées, contrôles appariés au niveau de l'âge, du sexe et du niveau d'étude ont participé (Ranchet, Hoang, et al., 2020). La méthodologie utilisée était la même que celle décrite dans la thèse d'Isabelle Hoang (2021). Les résultats de cette étude ont montré que les patients ont une plus forte activité préfrontale lors de la marche simple et lors de la marche en double tâche (marcher + soustraire 7), comparativement aux personnes âgées, contrôles. Des associations modérées à fortes ont été observées entre les performances aux tests de Stroop, du Trail Making Test et du Digit Symbol Substitution Test et le niveau d'activité préfrontale pendant la marche simple. En d'autres termes, plus les performances à ces tests sont détériorées, plus le niveau d'activité préfrontale est élevé. Ces résultats suggèrent que les patients vont compenser les déficits exécutifs en mobilisant davantage de ressources au niveau préfrontal pour le contrôle de la marche, même pendant la marche simple. Certains auteurs suggèrent qu'une augmentation de l'activité préfrontale, dès la marche simple, pourrait être un des facteurs contribuant aux chutes (Maidan et al., 2018).

A ce jour, il y a encore peu d'études qui s'intéressent à l'analyse de l'activité corticale pendant la marche dans cette population. Mieux comprendre les changements d'activité cérébrale au niveau de plusieurs régions pendant une tâche de marche permettrait de déterminer les mécanismes cérébraux qui pourraient être « améliorés » par un programme de rééducation. Une meilleure utilisation des ressources neuronales pendant la marche pourrait améliorer la mobilité et contribuer à la prévention du risque de chute dans la maladie de Parkinson.

2.3 Comment améliorer la marche et la cognition dans la maladie de Parkinson ?

De manière générale, les traitements proposés, que ce soit les médicaments ou la stimulation intracérébrale, visent à atténuer les symptômes de la maladie de Parkinson. Mais l'efficacité

des traitements pharmacologiques tend à s'estomper avec le temps, entraînant des fluctuations motrices et des dyskinésies. En complément des traitements médicamenteux proposés, d'autres interventions non médicamenteuses peuvent aider à améliorer la qualité de vie. La littérature démontre les effets bénéfiques des interventions basées sur l'exercice sur les troubles moteurs et non-moteurs chez les patients avec la maladie de Parkinson. D'ailleurs, une étude pilote longitudinale (suivi à un an) démontre les effets bénéfiques d'une pratique d'activité physique régulière sur les fonctions cognitives et les mécanismes cérébraux chez des personnes âgées, notamment celles présentant des déficits cognitifs légers (Talamonti et al., 2022).

2.3.1 Apport des programmes d'entraînement pour la réadaptation de la marche dans la maladie de Parkinson

Il existe une variété de méthodes de réadaptation permettant d'améliorer les aspects moteurs, et notamment la marche dans la maladie de Parkinson. Ces méthodes ont été présentées dans le mémoire de Master 1 de Fanny Baleste que j'ai encadré (2022). Parmi les différentes méthodes, celles impliquant de l'exercice de type aérobique a montré des effets positifs sur les symptômes moteurs (Schootemeijer et al., 2020; van der Kolk et al., 2019). L'exercice de type aérobique se définit comme des exercices de longue durée et d'intensité modérée pendant lequel le système cardiorespiratoire est en mesure de répondre aux besoins en oxygène des muscles. Je décris ci-dessous un programme de rééducation pluridisciplinaire développé à Lyon et destiné aux personnes présentant une maladie de Parkinson : le programme Sirocco.

Le programme Sirocco

Le programme Sirocco est un programme de rééducation pluridisciplinaire de 5 semaines destiné aux personnes présentant une maladie de Parkinson, réalisé à l'hôpital Henry Gabrielle. Il a été mis en place par une collaboration entre les médecins rééducateurs et les neurologues spécialistes des mouvements anormaux du centre hospitalier universitaire de Lyon. Les personnes suivent ce programme dans le cadre d'une hospitalisation de 5 semaines pour une prise en charge pluridisciplinaire en kinésithérapie, activités physiques adaptées, orthophonie, et ergothérapie. Les personnels impliqués sont des kinésithérapeutes, des ergothérapeutes, des orthophonistes, des moniteurs d'activités physiques adaptées, des psychologues, des médecins rééducateurs, et des neurologues. Ce programme est basé sur le concept de la méthode LSVT-BIG (réalisation de mouvements de large amplitude) qui a montré son efficacité sur les symptômes des patients parkinsoniens (Farley & Koshland, 2005). La rééducation est pratiquée

sur un mode intensif, répété, cadencé, avec des mouvements de grande amplitude. La marche nordique est un exemple d'activité pratiquée, répondant bien à ces critères. Les personnes sont prises en charge au sein d'un groupe de 8 par des professionnels formés au concept de LSVT-BIG. Elles suivent 4 à 5 séances de 45 minutes de rééducation collective, tous les jours, pendant 5 semaines. Une première étude, menée chez 38 patients à des stades légers à modérés de la maladie de Parkinson, avait pour objectif de montrer l'intérêt à court et à long terme du programme de rééducation multidisciplinaire (Sirocco) sur une variété de paramètres évaluant la mobilité, la marche, les activités de la vie quotidienne, l'écriture et l'intensité vocale lors de la lecture (Roche, 2017). Cette étude a fait l'objet de la thèse de médecine de Pauline Roche (2017). Les résultats démontrent un bénéfice du programme sur l'intensité vocale en lecture (7 à 15% d'amélioration). Une amélioration de la mobilité, des transferts, de l'équilibre a également été observée grâce à la GABS, une échelle qui évalue les capacités fonctionnelles (6,63% d'amélioration). La vitesse de marche a également été améliorée (10% d'amélioration). Concernant la réévaluation à un an, les résultats obtenus suggèrent un bénéfice prolongé dans le domaine du langage et de la mobilité. Ces premiers résultats montrent que le programme est bien toléré par les patients parkinsoniens à un stade léger à modéré de la maladie. De plus, les effets initialement obtenus sont prolongés dans le temps, ouvrant la voie d'une possible neuroprotection induite par l'exercice physique. Néanmoins, les mécanismes neurophysiologiques sous-jacents restent à explorer pour étudier la neuroplasticité induite par le programme. Dans la partie suivante, je décris, de manière non exhaustive, les effets de différents programmes d'entraînement impliquant la marche sur l'activité cérébrale dans la maladie de Parkinson, et plus particulièrement l'étude que nous avons réalisé sur l'effet du programme Sirocco sur les changements d'activité corticale pendant la marche.

2.3.2 Effets de différents programmes d'entraînement sur l'activité cérébrale et la marche dans la maladie de Parkinson

Il a été montré que l'entraînement peut entraîner une neuroplasticité comme une augmentation du volume de matière grise dans le cortex pariétal inférieur, le cerebellum et le cortex temporal inférieur chez les patients Parkinsoniens (Sehm et al., 2014)

Etudes en IRMf

L'étude de Maidan et al. (2017) avait pour objectif de comparer les effets de 2 types d'exercice sur l'activation cérébrale chez des patients atteints de la maladie de Parkinson : 17 patients réalisaient un entraînement combiné (entraînement sur tapis roulant de 6 semaines avec un casque de réalité virtuelle) et 17 patients réalisaient un entraînement seul (entraînement sur

tapis roulant de 6 semaines). L'environnement virtuel comprenait des obstacles, des chemins et des distracteurs nécessitant de la part du participant une adaptation continue. Tous les participants réalisaient une IRMf pour évaluer les changements au niveau de l'activation neuronale juste avant et juste après l'entraînement. Les participants devaient s'imaginer marcher eux-mêmes dans deux scènes virtuelles projetées dans l'IRMf : 1) un chemin et 2) un chemin avec obstacles. Les résultats montrent qu'après l'entraînement, les participants ayant reçu un entraînement combiné ont une plus faible activation cérébrale au niveau de l'aire de Brodmann 10 et du gyrus frontal inférieur par rapport à ceux qui ont seulement réalisé un entraînement seul. De plus, les participants ayant reçu seulement un entraînement sur tapis roulant ont une plus faible activation cérébrale au niveau du cervelet et du gyrus temporal moyen par rapport à ceux qui ont réalisé un entraînement combiné. Ces effets ne sont pas latéralisés. En résumé, les deux types d'entraînement proposés provoquent tous les deux une réduction de l'activation cérébrale chez les patients mais les régions cérébrales recrutées sont différentes en fonction de l'entraînement suivi. Cette étude souligne le rôle majeur des interventions qui combinent à la fois des aspects moteurs et des aspects cognitifs sur les modifications d'activation cérébrale dans différentes régions.

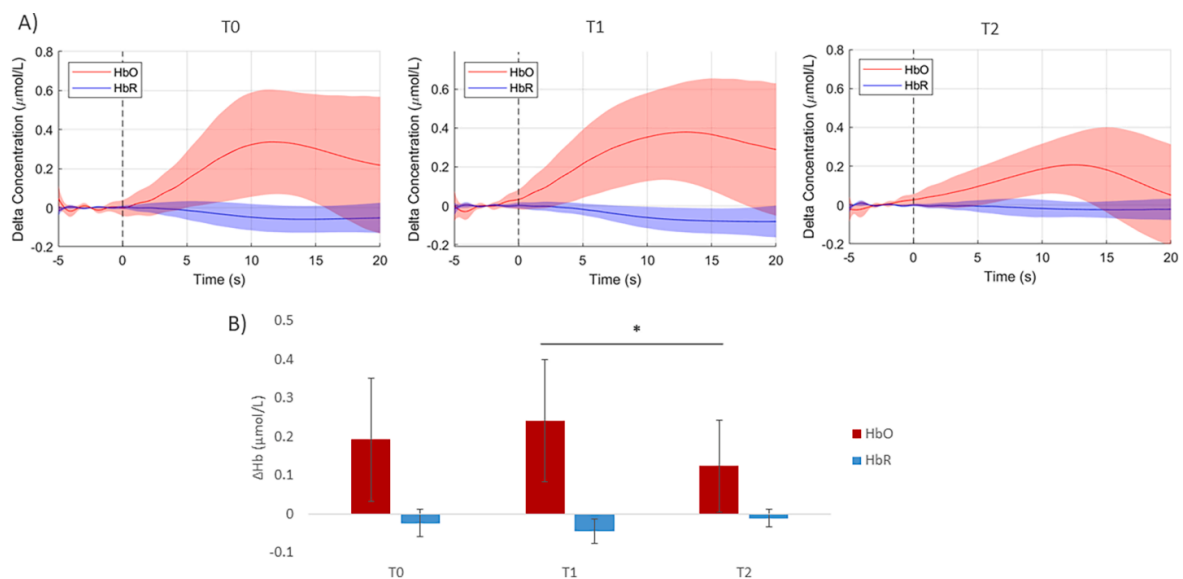
Etudes en fNIRS

Une autre étude de Maidan et al. (2018) utilisant la même méthodologie que celle réalisée en 2017, a également étudié l'activation préfrontale pendant la marche avant et après deux interventions (entraînement avec tapis roulant versus entraînement avec tapis roulant et casque de réalité virtuelle). Les objectifs de cette étude étaient de mieux comprendre le rôle du cortex préfrontal dans les chutes dans la maladie de Parkinson et l'influence de différents types d'exercices sur le fonctionnement cérébral. Pour cela, les participants étaient équipés d'une fNIRS. Il y avait 34 patients dans le premier groupe d'entraînement (entraînement avec tapis roulant) et 30 patients dans l'autre groupe. Les résultats montrent bien que l'entraînement seul entraîne une réduction de l'activité préfrontale pendant la marche simple et pendant les conditions de marche complexe (marche avec soustraction et marche avec négociation d'obstacles). Un autre résultat intéressant est que l'entraînement combiné réduit davantage l'activation préfrontale que l'entraînement seul. Les résultats montrent également que selon le type d'entraînement, les changements observés au niveau de l'activité corticale diffèrent, notamment au niveau du cortex préfrontal droit : les patients qui réalisent l'entraînement seul présentent, après l'entraînement, une augmentation de l'activité préfrontale au niveau de l'hémisphère droit pendant les conditions de marche complexe tandis que les patients qui

réalisent un entraînement combiné présentent une diminution de l'activation préfrontale au niveau de l'hémisphère droit et de l'hémisphère gauche. Les régions frontales au niveau de l'hémisphère droit jouent un rôle majeur dans le maintien du contrôle inhibiteur et l'exécution de la modification de l'action, deux fonctions nécessaires pour effectuer la marche tout en effectuant une double tâche ou de la négociation d'obstacles. Le cortex préfrontal droit est également impliqué dans les mécanismes d'attention, qui est une fonction nécessaire pour réaliser une double tâche. Il semblerait donc que l'entraînement combiné ait amélioré l'efficacité du cortex préfrontal droit ou réduit le besoin de compensation préfrontale droite, les deux entraînant une diminution de l'activation après entraînement. Les auteurs présument que l'activation réduite dans le cortex préfrontal gauche peut refléter une activation plus efficace, qui réduit l'utilisation des mécanismes compensatoires cognitifs.

Dans le cadre de la thèse d'Isabelle Hoang et du projet PARACHUTE, nous avons étudié l'effet du programme Sirocco sur l'activité préfrontale pendant la marche chez 14 patients diagnostiqués avec la maladie de Parkinson (Hoang et al., 2022). Ces patients ont été évalués 3 fois : 2 fois avant le programme d'entraînement (t0 et t1) et une fois juste après (t2). L'intervalle de temps entre t0 et t1 était de 5 semaines, équivalent à la durée du programme Sirocco. Dans cette étude, les patients étaient leurs propres contrôles. Pour chaque évaluation, la méthodologie était la même que celle des études précédentes (Hoang, 2021; Hoang et al., 2018; Hoang, Paire-Ficout, et al., 2022; Ranchet, Hoang, et al., 2020). Comme les précédentes recherches avaient montré une activité préfrontale élevée pendant la marche simple, nous nous sommes particulièrement intéressés à cette condition. Les résultats ont montré une réduction de l'activité préfrontale pendant la marche simple à t2 comparé à t1, ce qui n'était pas le cas entre t1 et t0 (voir figure 14). En étudiant l'activité corticale au niveau de chaque hémisphère, la réduction de l'activité préfrontale était significative au niveau de l'hémisphère droit, en accord avec les résultats de Maidan et al. (2017). Cette aire est responsable du contrôle de l'attention soutenue (Sturm & Willmes, 2001). Le cortex préfrontal droit est également impliqué dans la mémoire de travail visuelle ainsi que dans l'adaptation visuo-motrice (Anguera et al., 2010). Cela signifierait donc que les patients, après le programme d'entraînement font moins appel à ces processus cognitifs. La réduction au niveau de l'activité préfrontale après le programme suggère également que les patients sollicitent moins leurs ressources cognitives pour réaliser la tâche de marche. Il est donc possible que ce programme améliore l'automatisme du mouvement (Clark, 2015). Les patients avaient également un temps d'enjambée significativement plus court. Nous avons également montré des associations entre l'activité préfrontale et les performances de

marche avant le programme d'entraînement différentes de celles observées après le programme. Avant le programme (à t1), une activité préfrontale importante était corrélée à un plus petit coefficient de variation de la cadence alors qu'après le programme, une activité préfrontale diminuée était corrélée à un plus petit coefficient de variation. En d'autres termes, avant le programme, les patients qui sollicitent leurs ressources exécutives (se traduisant par une activité préfrontale élevée) sont ceux qui ont des meilleures performances de marche. Ces résultats confortent l'idée selon laquelle la perte d'automatisme de la marche chez une personne présentant une maladie de Parkinson entraîne un recours accru à un contrôle volontaire et donc aux fonctions cognitives pendant la marche, représenté ici par l'augmentation de l'activité préfrontale. Après le programme, les patients qui utilisent le moins leurs ressources exécutives sont ceux qui ont de bonnes performances de marche. Ces associations suggèrent qu'après le programme d'entraînement, la marche devient plus régulière et fait plus appel aux processus automatiques.



* $P < 0,05$, après ajustement de la correction de Bonferroni

Figure 14 : A) Réponse hémodynamique du cortex préfrontal dorsolatéral à un stimulus (à 0 : démarrage de la condition marche) pour chaque session (t0, t1, et t2) et B) Changements relatifs moyens en HbO₂ et HbR pour le cortex préfrontal dorsolatéral pendant la tâche de marche simple pour chaque session.

Pour s'assurer que la réduction de l'activité préfrontale après le programme Sirocco n'était pas liée à un effet test-retest de la tâche de marche, nous avons étudié la fiabilité test-retest de l'activité corticale préfrontale pendant la tâche de marche simple entre les sessions t0 et t1 chez

les mêmes participants (14 patients présentant une maladie de Parkinson) (Ranchet et al., 2023). Les résultats montrent une fiabilité test-retest modérée pour les changements relatifs en hémoglobine oxygénée (ΔHbO_2) au niveau du cortex préfrontal. En revanche, la fiabilité test-retest est plus faible pour ΔHbO_2 de chaque hémisphère. Cette récente étude confirme bien que la fNIRS peut être utilisée dans les recherches en réadaptation pour évaluer les effets d'un programme d'entraînement sur l'activité préfrontale pendant une tâche de marche.

Pour résumer, mes travaux sur la marche dans le vieillissement normal ou pathologique se sont plus focalisés sur les facteurs neurophysiologiques qui pourraient contribuer à la dégradation de la marche. Parmi les facteurs neurophysiologiques, je me suis intéressée à la mesure de l'activité corticale au niveau de la région préfrontale pendant la tâche de marche car l'activité corticale de cette région reflète le besoin en ressources cognitives nécessaires pour réaliser une tâche de marche, notamment dans le cas du vieillissement. De plus, cette mesure pourrait indiquer de futurs déclinés cognitifs ou moteurs liés au vieillissement pathologique. Mes travaux sont en lien avec les modèles neurophysiologiques tels que les modèles HAROLD, CRUNCH et STAC-r qui montrent que les personnes âgées et/ou présentant une maladie de Parkinson peuvent compenser, jusqu'à une certaine limite, leurs déficits cognitifs en activant plus de ressources cognitives. Ce qui est intéressant d'observer est que certains programmes de réadaptation de la marche, basés sur l'activité physique, ont montré des effets bénéfiques sur la performance de marche, la cognition et la neuroplasticité. Autrement dit, un programme de réentraînement pourrait modifier nos connexions cérébrales et améliorer ou maintenir la marche, même dans le cas d'un vieillissement pathologique comme la maladie de Parkinson.

Finalement, au cours de ces 15 dernières années, je me suis intéressée à deux formes de mobilité importante pour les personnes âgées : l'activité de conduite automobile et de marche. Ces recherches représentent des enjeux forts en termes de sécurité routière (ex. : évaluation de la conduite) mais aussi de santé publique (ex. : maintien d'une bonne qualité de vie ou prévention du risque de chute). D'autres formes de mobilité devront être explorées dans le futur, notamment l'utilisation de plus en plus fréquente du vélo par les personnes âgées. Dans mes recherches, les fonctions cognitives sont étudiées de différentes manières et à plusieurs niveaux (comportemental ou cérébral). Les tests neuropsychologiques évaluent une fonction cognitive bien spécifique. Les tâches secondaires réalisées pendant la conduite sur simulateur, ou lors d'une mise en situation sur route, ou pendant une activité de marche mettent en jeu les fonctions cognitives dans un contexte plus écologique. Enfin, les mesures neurophysiologiques viennent

en complémentarité des mesures comportementales pour mieux comprendre les liens entre le cerveau et le comportement.

Chapitre 4. Perspectives de recherche

De manière générale, mes travaux contribuent à une meilleure compréhension des mécanismes cognitifs et/ou cérébraux impliqués dans les situations de déplacement. En termes d'applications, ils aideront au développement de nouvelles méthodes d'évaluation et d'accompagnement, que ce soit au niveau de la conduite ou de la marche. L'enjeu final de ces recherches est d'améliorer la qualité de vie des personnes âgées et/ou présentant une pathologie neurologique et de prévenir la perte d'autonomie de ces personnes. Ces recherches visent également à proposer aux professionnels de santé des outils leur permettant d'évaluer « au plus juste » l'aptitude à la conduite ou la marche des personnes âgées et/ou des personnes présentant une pathologie neurologique.

Les travaux de recherche que j'envisage de poursuivre sont donc en lien direct avec ceux présentés dans les chapitres 2 et 3 de ce document. Mes thématiques scientifiques portent principalement sur 1) l'aptitude à la conduite automobile et l'accompagnement des personnes dans le maintien de leur mobilité et sur 2) l'activité de marche et la compréhension des mécanismes cérébraux impliqués dans cette activité. Ces travaux seront menés majoritairement sur des personnes âgées et/ou présentant une pathologie neurologique. Dans les deux thématiques, je m'intéresse plus particulièrement aux rôles des fonctions cognitives et métacognitives dans le comportement de conduite ou lors de la marche.

Dans la suite du document, je présente d'abord les pistes de recherche que j'aimerais mener et encadrer dans les années à venir puis, je décris, en exemple, des recherches émergentes, récemment développées, qui se poursuivront dans le futur.

1. Evaluation de l'aptitude à la conduite et accompagnement des personnes présentant une pathologie neurologique

1.1 Aptitude à la conduite automobile

Comme précisé dans le chapitre 2, les préconisations pour évaluer l'aptitude à la conduite sont précisées par décret, le dernier datant du 28 Mars 2022. Ce décret précise la liste des affections médicales incompatibles ou compatibles avec la conduite mais il ne décrit pas précisément les moyens et les modalités à mettre en œuvre pour évaluer l'aptitude à la conduite. Nous avons remarqué qu'il existe très peu de données publiées en France sur le nombre de personnes présentant une affection médicale, quel que soit le type, venant pour une évaluation de leur conduite. Cela peut être expliqué par le fait que cette évaluation n'est pas systématique, contrairement à d'autres pays (ex. de la Belgique). Dans la poursuite de mes recherches

réalisées lors de mon post-doctorat, **une partie de mes recherches dans les 10 prochaines années sera donc consacrée à mieux connaître le profil des personnes présentant une affection médicale venant pour une évaluation de la conduite en France. Il s'agira également d'identifier les déterminants d'une reprise de la conduite ou d'un arrêt de la conduite.** Les déterminants peuvent être multiples : les caractéristiques démographiques (âge, genre, lieu de vie), cliniques (sévérité de la maladie, type de la maladie, nombre de comorbidités), cognitives (fonctions exécutives, mémoire, attention), motrices, métacognitives (i.e, la conscience des capacités), sensorielles seront prises en compte.

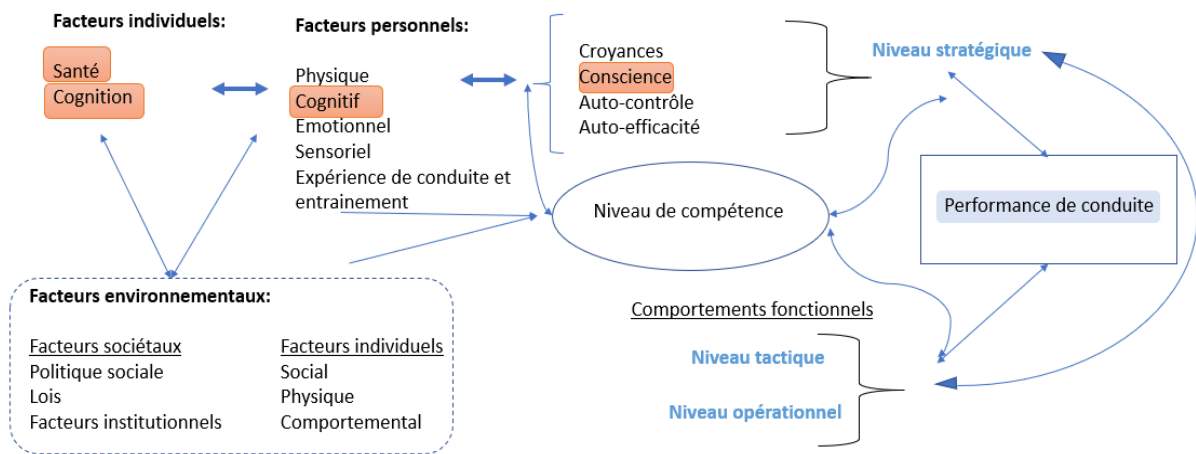
Pour cela, il s'agira de développer, dans chaque hôpital qui propose une consultation d'aptitude à la conduite, une base de données « commune » permettant de mieux comprendre le profil des personnes présentant une affection médicale. Ces données permettront également de déterminer le taux d'arrêt ou de reprise de la conduite dans une population spécifique et d'identifier les déterminants de l'arrêt ou de la reprise de la conduite. Cette base de données sera réalisée en étroite collaboration avec les professionnels de santé et pourra être garantie par des projets de recherches futurs dans lesquels contribueront des doctorants et des stagiaires. D'un point de vue clinique, cela permettra de fournir aux professionnels de santé des éléments sur les facteurs auxquels ils doivent être attentifs. Les politiques publiques liées à la conduite automobile ayant pour objectifs de réglementer et d'améliorer la sécurité routière pourraient s'appuyer sur les résultats issus de ces bases de données. Je m'intéresserai tout particulièrement aux fonctions cognitives évaluées par le bilan neuropsychologique (lorsqu'il est réalisé) dans l'objectif d'évaluer ces fonctions en contexte de conduite pour mieux comprendre leurs rôles sur la performance de conduite.

Récemment, je me suis intéressée à la problématique de la reprise de la conduite chez des personnes victimes d'AVC. La reprise de la conduite chez des personnes AVC est un sujet qui soulève de nombreuses questions soulignées par la HAS: « *Comment repérer, évaluer et accompagner ces personnes pour lesquelles la question de la reprise de la conduite se pose ?* ». Les recommandations de bonnes pratiques, labellisées par la HAS ont permis de répondre en partie à ces questions (Comète France, SOFMER, FEDMER, IFSTTAR, 2016). Néanmoins, en France, il n'existe pas de données récentes publiées sur le taux de recommandation délivrée par l'équipe pluriprofessionnelle concernant la reprise de la conduite chez les personnes ayant subi un AVC. En Belgique, nous avons montré que 78% des personnes ayant subi un AVC venant pour une évaluation de la conduite entre Septembre 2012 et Décembre 2013 étaient considérées apte à conduire par l'enseignant de la conduite (Ranchet, Akinwuntan, Tant, et al., 2016).

Les travaux que je mène ont donc pour objectif de dresser un premier état des lieux du taux de reprise de la conduite automobile de patients victimes d'un AVC et de mieux comprendre les facteurs (ex. : cliniques, démographiques, cognitifs) participant à ce retour à la conduite automobile. Le taux de reprise de la conduite fait suite aux recommandations faites par les professionnels de santé (ergothérapeutes, moniteurs d'auto-école, et/ou médecins) suite à une évaluation pluridisciplinaire. Il s'agit également d'étudier le devenir de ces conducteurs dans les années suivant la reprise. Pour cela, un examen des dossiers de personnes ayant été évaluées à l'hôpital Henry Gabrielle (Saint-Genis Laval) et au Centre Mutualiste de Kerpape (Ploemeur, Lorient) durant l'année 2019 a été réalisé. Trois ans plus tard, les personnes ayant fait l'objet de cette première étude sont recontactées au téléphone et questionnées à propos de leurs habitudes de conduite depuis leur reprise, de leurs difficultés et des stratégies mises place pour conduire en toute sécurité. Cette enquête téléphonique a été réalisée en fin d'année 2022 jusqu'au mois de Mars 2023. Les résultats de l'étude rétrospective et du devenir des conducteurs à 3 ans sont en cours d'analyse. Les premiers résultats de l'étude rétrospective au centre mutualiste de Kerpape montrent qu'une plus grande proportion de personnes AVC jugées inaptes à la conduite présentent des séquelles instrumentales par rapport à celles jugées aptes à la conduite. Les séquelles instrumentales sont principalement des difficultés au niveau du langage (troubles phasiques). Cela peut être lié à des difficultés de compréhension des panneaux ou des consignes données par l'enseignant de la conduite lors de la mise en situation. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du travail de thèse de Clara Gasne (2021-2024) que je co-encadre avec Laurence Paire-Ficout et d'un projet de recherche intitulé « RETROUVE : reprise de la conduite et conscience des troubles chez des patients AVC », financé par la Délégation Sécurité Routière (DSR) (2021-2024). L'ensemble de ces travaux sont menés en collaboration avec mes collègues du Lescot (Laurence Paire-Ficout, Myriam Evennou), Isabelle Hoang (CDD de 2 ans), l'équipe du centre de Kerpape (Pauline Coignard, Jean-Luc LeGuet, moniteurs d'auto-école, ergothérapeutes, neuropsychologues) et l'équipe de l'hôpital Henry Gabrielle (Jacques Luauté, et des ergothérapeutes). La méthodologie de cette recherche a été valorisée par la publication d'un article destiné aux professionnels de santé (Gasne, Hoang, et al., 2022) et d'un livrable intermédiaire destiné à la DSR (Hoang, Gasne, et al., 2022). Dans les années à venir, ces recherches feront l'objet de publications dans des revues à destination du monde académique et médical. En complément de ces travaux, il me semble nécessaire de développer de nouvelles méthodes d'évaluation de la conduite, adaptées aux différents types de population, notamment à partir du simulateur de conduite.

1.2 Evaluation de l'aptitude à la conduite

L'évaluation de l'aptitude à la conduite prendra en compte les différents facteurs décrits dans le modèle de Lindstrom-Forneri et al. (2010) (figure 15). J'étudierai la performance de conduite, qui va dépendre non seulement des compétences de conduite, influencée par les caractéristiques individuelles de l'individu (ex. : état de santé) mais également par d'autres facteurs comme les fonctions cognitives ou la conscience de ses propres capacités.



Ce qui est surligné en orange représente les facteurs que j'étudierai plus spécifiquement.

Figure 15 : Modèle de Lindstrom-Forneri et al. traduit en français

La performance de conduite pourra être évaluée à partir d'un véhicule d'auto-école ou d'un simulateur de conduite. L'évaluation sur simulateur de conduite est une approche intéressante pour mesurer à la fois la performance de conduite mais aussi la conscience que la personne a de ses propres capacités. Les données issues du simulateur de conduite permettent également de déterminer dans quelle mesure la performance de conduite est modifiée par d'éventuels troubles cognitifs (attentionnels, exécutifs...). Il permet d'observer des comportements dans un contexte écologique, en toute sécurité et de manière contrôlée mais il présente toutefois des inconvénients tels que le mal du simulateur, qui peut apparaître chez certaines personnes. Il est bien sûr important de souligner que l'évaluation sur simulateur ne remplace en aucun cas une mise en situation sur route mais peut être utilisée en complémentarité avec d'autres outils d'évaluation de la conduite automobile. **Mes recherches viseront donc à mieux comprendre les liens entre ces facteurs et la performance de conduite en fonction du type de pathologie étudiée.** L'ensemble de ces travaux fera l'objet de plusieurs projets de recherche et d'encadrements d'étudiants en thèse ou en post-doctorat, réalisés en étroite collaboration avec

mes collègues du Lescot et les professionnels de santé (ergothérapeutes, neuropsychologues, médecins).

Dans le paragraphe ci-dessous, je présente une recherche en cours sur l'évaluation de l'aptitude à la conduite des personnes présentant des troubles neurocognitifs à partir du simulateur de conduite.

1.2.1 Conduite chez les personnes présentant des troubles neurocognitifs

Dans le contexte du projet ACCOMPAGNE (Aménagement de la conduite automobile chez des personnes présentant un trouble neurocognitif : programme adapté d'éducation thérapeutique en gériatrie et neurologie), nous avons implémenté un mini-simulateur de conduite à base fixe au sein de l'hôpital des Charpennes (figure 16) et développé des scénarii de conduite pour apprécier la conduite des personnes dans différents contextes (ex. : suivi de voiture, maintien du véhicule, dépassement, freinage, conduite en milieu rural, conduite en ville).



Figure 16. Simulateur de conduite installé à l'hôpital des Charpennes

Cette étude a pour objectif d'évaluer les performances de conduite et la prise de conscience des capacités de conduite des personnes présentant un trouble neurocognitif, à partir du simulateur de conduite. La performance de conduite et la conscience des capacités de conduite des personnes présentant des troubles neurocognitifs sont évaluées à partir des données issues du simulateur de conduite et des questionnaires d'évaluation. Pour mesurer la prise de conscience, un questionnaire d'autoévaluation est rempli par le participant tout de suite après la tâche de conduite. Deux expérimentateurs remplissent également cette grille permettant un double codage. L'expérimentateur répond aux questions concernant le comportement du conducteur lors de la mise en situation sur simulateur et un autre examinateur répond aux

questions soit lorsqu'il est présent à la mise en situation sur simulateur, soit après visionnage du scénario a posteriori (playback). Un score de prise de conscience est obtenu à partir des réponses du participant et celles des évaluateurs (moyennage entre les deux évaluations).

Ces travaux de recherche nous permettront de mieux comprendre les effets des troubles cognitifs et d'un défaut de conscience de ces troubles sur la performance de conduite pour les personnes présentant des troubles neurocognitifs. Ils s'intègrent dans le projet de recherche en cours « ACCOMPAGNE-DSR » (2020-2024), financé par la DSR. Même si le nouvel arrêté (en date du 28 Mars 2022) stipule l'arrêt de la conduite pour les personnes présentant des troubles neurocognitifs évolutifs à partir du moment où un déclin cognitif léger est identifié, il nous semble important de poursuivre ces recherches sur l'évaluation de la conduite pour mieux renseigner les répercussions des troubles cognitifs et de la conscience des capacités de conduite sur le comportement de conduite. Dans le cas où les personnes ne sont plus en mesure de conduire, les résultats issus du simulateur et des questionnaires d'autoévaluation pourront aider les professionnels à faire accepter aux personnes et à leurs proches les préconisations d'arrêt de la conduite.

Je travaille également sur le développement d'une plateforme d'analyse de données issues du simulateur de conduite pour que les performances de conduite obtenues à partir des données du simulateur soient traitées automatiquement, et synthétisées tout de suite après l'expérimentation sous la forme d'un bilan. Ce travail est réalisé avec mes collègues (Floriane Delphin-Combe, Marion Giroux et Laurence Paire-Ficout) et avec l'aide de Corentin Houdayer, ingénieur développement logiciel. L'objectif de ce projet est que ces données puissent servir d'indicateur de performance de conduite, en comparaison à des valeurs de référence obtenues dans un groupe de personnes, contrôles, sans pathologies neurologiques connues. La constitution de ces valeurs de référence pourra faire l'objet de travaux futurs d'encadrements d'étudiants. A terme, cet outil pourra être plus largement diffusé dans les différents centres d'évaluation pour réaliser un bilan d'aptitude à la conduite.

Jusqu'à présent, les recherches sur l'aptitude à la conduite automobile se sont surtout concentrées sur les personnes âgées ou les personnes présentant une maladie neuro-évolutive (type maladie d'Alzheimer ou maladie de Parkinson). Ceci peut être expliqué par le fait que le nombre de personnes présentant une maladie neuro-évolutive est en constante augmentation. De plus, il est maintenant bien admis que les déclins cognitifs, moteurs ou sensoriels liés au vieillissement normal et pathologique ont des répercussions majeures sur le comportement de

conduite. Néanmoins, la littérature sur les conducteurs présentant d'autres pathologies telles que les personnes épileptiques ou les pathologies psychiatriques n'est pas tellement renseignée. Cela peut être expliqué par le fait que ces affections médicales touchent un nombre plus restreint de personnes et que ces personnes sont difficiles à recruter pour les expérimentations. Pourtant, nous remarquons un fort intérêt de la part des professionnels de santé qui s'interrogent sur la façon dont ces personnes doivent être évaluées et accompagnées dans le maintien de leur conduite. **Dans les prochaines années, mes recherches s'orienteront sur l'exploration de ces populations, relativement peu étudiées, mais qui rencontrent toutefois des difficultés bien spécifiques en conduite.**

1.2.2 Conduite des personnes présentant une épilepsie

L'épilepsie est un trouble cérébral caractérisé par une prédisposition durable à générer des crises. En pratique, cette définition s'applique en général lorsque deux crises non provoquées surviennent à plus de 24 heures d'intervalle. Les crises d'épilepsie sont définies par la survenue transitoire de signes et/ou de symptômes dus à une activité neuronale cérébrale excessive ou anormalement synchrone traduisant un dérèglement soudain. L'épilepsie concerne environ 600 000 personnes en France. Elle touche tous les âges de la vie et se déclare souvent dans l'enfance et l'adolescence. Elle entraîne une réduction majeure de la qualité de vie (Gilliam et al., 1997).

La prévalence des déficits cognitifs dans l'épilepsie est de l'ordre de 30 à 40 % (Kumar & Vatsala, 2019; Witt & Helmstaedter, 2015). Les personnes présentant une épilepsie ont des déficits au niveau des fonctions exécutives, des troubles de l'attention, de la mémoire et de l'apprentissage. Les troubles de l'attention sont bien plus fréquents chez les personnes avec une épilepsie par rapport à la population générale du fait, à la fois de la perturbation des réseaux attentionnels par la pathologie, mais également du fait des traitements antiépileptiques (Rheims & Auvin, 2021). Ces déficits cognitifs peuvent aussi être associés à la fatigue mentale/cognitive qui est décrit comme l'incapacité à se rappeler de l'information ou se concentrer pendant de longues périodes de temps (Chaudhuri & Behan, 2004).

En cas d'épilepsie, l'arrêté propose une suspension temporaire d'un an du permis de conduire (Arrêté du 28 mars 2022 modifiant l'arrêté du 31 juillet 2012 relatif à l'organisation du contrôle médical de l'aptitude à la conduite, 2022). En cas d'absence de nouvelle crise, la personne peut ensuite être considérée apte à la conduite après une période d'un an. Si elle ne fait aucune crise pendant 5 ans (maximum), elle bénéficie d'une compatibilité temporaire. A l'issue des 5 ans, si la personne ne refait pas de crise, elle peut être considérée définitivement apte à la conduite.

Au niveau de l'accidentologie, les études rapportent un risque général d'accidents légèrement plus élevé chez les personnes épileptiques (Vernon et al., 2002) ou équivalent (Classen et al., 2012; Taylor et al., 1996) par rapport aux personnes, contrôles. Il existe très peu d'études concernant la performance de conduite de patients épileptiques, observées sur route ou sur simulateur de conduite. Deux études récentes, dont une étude de cas (Ban et al., 2020) se sont intéressées à l'analyse du comportement de conduite sur simulateur de ces patients épileptiques (Ban et al., 2020; Saji et al., 2021). Saji et al. (2021) ont montré que la performance de conduite sur simulateur de personnes ayant un traitement antiépileptique n'était significativement pas différente de celle de personnes contrôles. Une des limites de cette étude est que les auteurs ont évalué les conducteurs dans des situations peu exigeantes (ex. : suivi de voiture). L'acuité visuelle et les mécanismes d'attention (test à l'UFOV « useful visual field of view ») semblent être associés à des erreurs de conduite sur simulateur chez ces conducteurs souffrant d'épilepsie (Crizzle et al., 2012). La littérature souligne l'intérêt de réaliser des études prospectives sur simulateur de conduite pour étudier les répercussions des troubles épileptiques sur la conduite. En complément d'une évaluation médicale (ex. : tests cognitifs, examen électroencéphalographique (EEG)), la mise en situation sur simulateur de conduite simultanément à une mesure de l'activité neuronale permettrait d'analyser finement les effets d'anomalies au niveau de l'EEG sur le comportement de conduite (Chen et al., 2014).

A ce jour, l'évaluation de l'aptitude à la conduite de personnes souffrant d'épilepsie se fait, dans la plupart des cas, sur la base d'une évaluation médicale. Les médecins, notamment agréés ont parfois des difficultés à émettre un avis médical sur l'aptitude à la conduite de ces patients car l'impact des troubles cognitifs sur la conduite dans cette population est peu documenté. Il existe également des patients souffrant d'épilepsie qui continuent de présenter des anomalies au niveau de l'électroencéphalogramme (EEG) et qui n'ont en apparence, pas de répercussions sur la vie quotidienne (Antwi et al., 2019). Les patients ne perçoivent aucune gêne particulière. La question est donc de savoir comment se traduisent ces anomalies sur l'activité de conduite.

C'est dans ce contexte que nous développons cette problématique de recherche, initiée par une collaboration avec Cécile Sabourdy, neurologue au CHU de Grenoble et qui s'est concrétisée autour du dépôt d'un projet EPICO (Epilepsie et Conduite 2022-2025), financé par la DSR. L'objectif de ce projet est de mieux comprendre l'impact des troubles épileptiques sur le comportement de conduite lors d'une mise en situation sur un simulateur de conduite. Les décharges électriques seront observées en temps réel, pendant une tâche de conduite, grâce à un EEG. Pour cela, des personnes épileptiques, titulaires du permis de conduite, conduiront sur

un simulateur de conduite et réaliseront plusieurs tâches sur simulateur (en cours de développement). Le simulateur sera installé dans l'hôpital au plus près des personnes. Il s'agira également d'identifier les facteurs cliniques, cognitifs et de conduite pouvant expliquer la performance de conduite de ces personnes. En termes d'impact économique et social, cette recherche permettra de fournir des éléments complémentaires aux médecins agréés pour établir un avis plus « éclairé » sur l'aptitude à la conduite des personnes souffrant d'épilepsie. En termes de sécurité routière, cette recherche permettra de mieux comprendre le comportement de conduite des patients épileptiques et de mieux connaître le rôle des facteurs cliniques, cognitifs et de conduite sur leur performance de conduite.

1.2.3 Conduite des personnes présentant une schizophrénie

Comme évoqué plus haut, l'étude à laquelle j'ai participé en 2017 suggère que les personnes souffrant de troubles psychiatriques ont un taux élevé d'avis défavorable par l'équipe pluridisciplinaire (Moon et al., 2017). **Dans les années à venir, je développerai cette problématique de la conduite chez les patients avec troubles psychiatriques, en collaboration avec le CHU de Tours (Jérôme Graux, Helen Clery et les professionnels de santé).** Au sein du service Se Rétablir 37, dirigé par Dr Jérôme Graux, les professionnels de santé sont régulièrement confrontés aux plaintes de patients avec des troubles psychiatriques (ex. : schizophrénie) qui ne se sentent plus capables de conduire. Ces personnes sont titulaires d'un permis de conduire mais ont peur de prendre le volant et mettent en place des stratégies d'évitement qui ont d'importantes répercussions sur leur qualité de vie. A notre connaissance, peu de travaux ont été réalisés sur la conduite et la schizophrénie (Biedermann et al., 2022; De las Cuevas et al., 2010; Fuermaier et al., 2019). Les personnes souffrant de schizophrénie présentent des troubles de concentration, vigilance et de tolérance au stress, lié surtout à la prise de médicaments antipsychotiques. Ils présentent le plus souvent un ralentissement psychomoteur qui influence leur capacité à réagir rapidement. Pour autant, il semble que ces personnes régulent leur conduite. Les résultats d'une étude récente montrent qu'1/3 des personnes (sur 50) présentant une schizophrénie chronique, avec un traitement antipsychotique stable, restreignent leur conduite, en réduisant leur temps de conduite ou en évitant certaines situations de conduite (Biedermann et al., 2022). Une des recherches que je souhaite développer serait d'évaluer à l'aide du simulateur de conduite, leur performance de conduite et la conscience de leurs capacités de conduite pour étudier la façon dont les personnes souffrant de schizophrénie s'auto-évaluent au regard de leur conduite. Ensuite, il serait intéressant d'utiliser le simulateur comme un outil de réadaptation pour que ces patients, qui n'ont pas

confiance en eux, reprennent confiance au volant en réalisant des séances sur simulateur. Ces recherches ne seront pas plus développées dans ce manuscrit car nous sommes au tout début de notre réflexion. Un simulateur est provisoirement installé au CHU de Tours où des pré-tests sont en cours.

L'arrêt brutal de la conduite est généralement mal vécu par la personne et la décision d'arrêter de conduire préconisée par le médecin agréé est difficile à accepter. De plus en plus de recherches démontrent la nécessité de mettre en place des interventions accompagnant les patients et/ou les aidants dans le processus d'adaptation puis d'arrêt progressif de la conduite. **Dans les prochaines années, je poursuivrai mes recherches sur l'accompagnement des personnes pour le maintien de leur mobilité.** Je présenterai dans le paragraphe suivant les travaux en cours sur les méthodes utilisées pour accompagner la personne vers le maintien, la reprise ou l'arrêt de la conduite.

1.3 Accompagnement des personnes dans le maintien de leur mobilité

Je présente ci-dessous deux formes d'accompagnement : un programme d'éducation thérapeutique destiné aux personnes présentant des troubles cognitifs et l'utilisation de caméras embarquées pour étudier le rôle du feedback vidéo sur la reprise de la conduite chez des personnes ayant subi un AVC.

1.3.1 Régulation de la conduite pour les personnes présentant des troubles neurocognitifs

En lien avec le projet sur l'évaluation de la conduite chez les patients présentant des troubles neurocognitifs, j'ai participé au développement d'un programme intitulé ACCOMPAGNE destiné à accompagner progressivement les patients vers une régulation de leur conduite, voire leur arrêt (pour plus de détails, voir Delphin-Combe et al., 2022). La figure 17 présente brièvement les différents ateliers du programme.



Figure 17 : Schéma récapitulant les différents ateliers du programme ACCOMPAGNE

Ce programme Accompagne (2019-2022) était financé par un programme hospitalier de recherche infirmière et paramédicale (PHRIP) et porté par Floriane Delphin-Combe, neuropsychologue à l'Hôpital des Charpennes. Concernant la partie « conduite » dont j'avais la responsabilité dans ce projet, nous avons développé les scénarios pour l'évaluation. Ces scénarios ont été proposés deux fois : avant et après le programme. Nous nous attendions à ce que les patients du groupe expérimental aient une meilleure prise de conscience de leurs capacités de conduite après le programme ACCOMPAGNE par rapport aux patients du groupe contrôle qui recevaient les préconisations habituelles. Malheureusement, cette hypothèse n'a pas pu être vérifiée, ceci pour plusieurs raisons : avec le contexte sanitaire, nous avons eu beaucoup de difficultés à recruter des patients, les services d'accueil de jour sont restés fermés pendant longtemps. Les expérimentations ont donc pris du retard. De plus, nous avons été contraints d'arrêter le programme Accompagne, dès la publication de l'arrêté du 28 Mars 2022 qui stipule que la conduite automobile est désormais interdite à toute personne souffrant d'une maladie d'Alzheimer ou apparentée et présentant un trouble cognitif léger. En effet, les personnes recrutées pour participer aux ateliers Accompagne étaient toutes des personnes présentant des troubles cognitifs légers. Malgré la publication de cet arrêté, je reste convaincue que des travaux sur l'accompagnement des personnes présentant des troubles neurocognitifs sont nécessaires pour préserver leur mobilité et ne pas accentuer le risque d'isolement et de

perte d'autonomie. Il importe de pouvoir leur proposer des autres alternatives à la voiture et leur faire accepter progressivement l'arrêt de la conduite. De récentes recherches soulignent d'ailleurs l'intérêt d'un accompagnement pour les personnes âgées ou les personnes atteintes de troubles neurocognitifs en vue d'un arrêt de la conduite (Dobbs et al., 2009; Liddle et al., 2006; Rapoport et al., 2017). Cet accompagnement est également essentiel, en termes de maintien de l'autonomie, pour des personnes qui souhaitent reprendre la conduite, notamment dans le cas des personnes post-AVC.

1.3.2 Reprise de la conduite des personnes ayant eu un accident vasculaire cérébral

Il est parfois délicat de faire accepter à des personnes qui ont subi un AVC un avis d'arrêt temporaire de la conduite. C'est pourquoi une équipe du centre Mutualiste de Kerpape, composée de médecins, ergothérapeutes, neuropsychologues et moniteurs d'auto-école, en collaboration avec une équipe du Lescot (Clara Gasne, Isabelle Hoang, Myriam Evennou, Laurence Paire-Ficout et moi-même) s'interrogent sur l'intérêt d'un retour vidéo après la mise en situation sur route sur la prise de conscience de ses propres capacités de conduite. Notre hypothèse est que ce retour vidéo améliorera la conscience que l'individu a de ses propres capacités de conduite. En d'autres termes, il aidera les personnes à mieux apprécier leurs capacités réelles de conduite. Cette étude prévoit de recruter 60 patients post-AVC qui réaliseront une évaluation de l'aptitude à la conduite. A l'issue du parcours, 30 patients seront amenés à s'exprimer et à analyser des situations de conduite issues de leur propre parcours à l'aide d'un retour vidéo, les 30 autres patients le feront sans avoir de retour vidéo. Cette recherche en cours fait partie également du projet RETROUVE et constitue une partie du travail de thèse de Clara Gasne.

A travers ces différents projets ACCOMPAGNE et RETROUVE, nous introduisons donc la notion de « prise de conscience » en l'évaluant de différentes manières : à l'aide de questionnaires d'auto-évaluation à remplir suite à une conduite sur simulateur ou à l'aide d'un dispositif vidéo intégré dans un véhicule d'auto-école. Il nous semble important d'intégrer ces mesures de prise de conscience dans les recherches s'intéressant à l'évaluation de l'aptitude à la conduite pour prendre en compte cette dimension dans l'avis sur l'aptitude à la conduite donné par l'équipe pluriprofessionnelle.

Pour terminer, il me semble important de prendre en compte les avancées technologiques, le véhicule devenant de plus en plus automatisé. Il est donc possible que les évaluations de

l'aptitude à la conduite pour les personnes présentant une affection médicale changeant. Il faudra donc adapter les procédures d'évaluation de l'aptitude à la conduite.

2. Evolution de l'évaluation de l'aptitude à la conduite

Pour les personnes âgées et les personnes en situation de handicap, le véhicule automatisé représente un enjeu majeur en termes de mobilité. En effet, ce véhicule pourrait permettre de maintenir plus longtemps leur mobilité et leur autonomie. Il existe plusieurs niveaux d'automatisation : du niveau 0 (pas d'autonomisation) au niveau 6 (complètement autonome) (Society of Automotive Engineers International (SAE), 2016). En France, le décret autorisant la conduite autonome de niveau 3 (aussi appelé « conduite automatisée »), paru au Journal officiel en Juillet 2021, a pris effet à partir du 1^{er} Septembre 2022. Actuellement, le niveau 3 est le niveau sur lequel travaille les constructeurs de véhicule et la commercialisation de ces véhicules a déjà commencé (ex. : système « Drive Pilot » de Mercedes-Benz). Pour ce niveau, le conducteur doit être capable de reprendre en main le véhicule dans certaines situations lorsque le système n'est plus en mesure de contrôler la conduite du véhicule (ex. : travaux sur autoroute, obstacles sur la route).

En lien avec les professionnels de santé, je participerai à des recherches dans ce domaine pour évaluer « au plus juste » les capacités de conduite des personnes présentant une pathologie neurologique pendant et après la reprise en main d'un véhicule automatisé. Les futures études devront déterminer dans quelle mesure l'automatisation de la conduite peut aider ces conducteurs à maintenir leur mobilité. A ma connaissance, il y a encore très peu d'études sur le véhicule automatisé menées avec des personnes âgées présentant une maladie neuro-évolutive. Les résultats d'une étude à laquelle j'ai participé montrent que les personnes présentant une maladie d'Alzheimer en phase préclinique (i.e. défini par la présence de biomarqueurs de la pathologie mais sans déficits cognitifs apparents) réagissaient aux situations dangereuses pendant la conduite automatisée aussi rapidement que les personnes âgées, contrôles (Ahmadnezhad et al., in press). De plus, la charge cognitive, évaluée à partir de l'oculomètre et de la NASA-TLX ne différaient pas entre les deux groupes. Nous avons réalisé une étude similaire auprès de 14 participants âgés présentant un trouble neurocognitif évolutif (ex. : déficit cognitif léger, maladie d'Alzheimer) et 21 personnes âgées contrôles (Ahmadnezhad et al., in revision). Nos résultats montrent que les conducteurs âgés présentant un trouble neurocognitif répondaient plus lentement aux situations dangereuses que les contrôles, notamment lorsque le participant devait réaliser une autre tâche (tâche 2-back)

pendant la phase de conduite autonome. Pour autant, la charge cognitive ne différait pas entre les deux groupes. Pour conclure, les personnes en phase préclinique de la maladie d'Alzheimer reprennent le véhicule en main de manière sécuritaire, ce qui n'est pas le cas des personnes âgées présentant un trouble neurocognitif.

Il est également possible que les tests neuropsychologiques utilisés dans les centres de rééducation ou dans les hôpitaux ne soient plus pertinents pour évaluer la performance de reprise en main. Il sera donc nécessaire de déterminer les tests neuropsychologiques qui expliquent au mieux la performance de reprise en main chez les conducteurs âgés ou atteint d'une pathologie neurologique.

Récemment, j'ai mené une recherche sur la reprise en main des conducteurs âgés, sans troubles cognitifs apparents pour mieux comprendre les facteurs qui peuvent influencer la capacité de reprise en main. Cette recherche a été réalisée en collaboration avec Clara Gasne, Laurence Paire-Ficout et Stéphanie Bordel (Cerema) et financée par la Dévolution de la Fondation Sécurité Routière (Projet SURCA 2019-2022). Nous avons, dans un premier temps, réalisé une revue de littérature qui avait pour objectif de mieux comprendre les effets du vieillissement sur la performance de reprise en main (Gasne, Paire-Ficout, et al., 2022). Cette revue comprenait 14 études réalisées sur simulateur de conduite. Dans ces études, tous les participants devaient reprendre en main le véhicule lorsque le système de conduite automatisé n'était plus en mesure d'avoir le contrôle (par exemple, dans le cas d'un obstacle ou de travaux sur la route). Les résultats ont globalement montré que les conducteurs âgés sont plus lents que les conducteurs jeunes pour reprendre en main le véhicule (Li et al., 2018, 2019a, 2019b; Wu et al., 2019), notamment lorsqu'ils sont engagés dans une autre tâche pendant la conduite autonome. Les études se sont également intéressées à la qualité de reprise en main, en étudiant d'autres facteurs que le temps de réponse. Par exemple, la vitesse de conduite, la variabilité au niveau de la voie, ou le temps à la collision peuvent être des critères de qualité de reprise en main. Les résultats concernant la reprise en main chez les conducteurs âgés sont divergents : certaines études montrent que les conducteurs âgés sont moins efficaces que les jeunes (Li et al., 2018, 2019a, 2019b; Peng & Iwaki, 2020) alors que d'autres montrent que les conducteurs âgés adaptent leur comportement de conduite (Favaro et al., 2019; Körber et al., 2016; Miller et al., 2016), par exemple, en adoptant une vitesse réduite pendant la conduite. En plus de l'âge, d'autres facteurs, tels que les autres tâches réalisées pendant la conduite autonome, l'intervalle de notification (temps maximum qui sépare l'alerte et la reprise en main), le type de notification et la vitesse de conduite du système autonome influencent également la performance de reprise

en main des conducteurs âgés. Pour compléter ces résultats, nous avons réalisé une étude expérimentale pour étudier les capacités de reprise en main des conducteurs âgés suite à une phase autonome durant laquelle le conducteur est fortement engagé dans une tâche non liée à la conduite. L'originalité de cette étude était que tous les conducteurs réalisaient une tâche qui était adaptée à leur niveau d'empan. En d'autres termes, nous avons contrôlé le niveau de difficulté de la tâche, en le rendant équivalent entre les participants. L'objectif de cette étude expérimentale était d'étudier, à partir d'une mise en situation sur un simulateur de conduite, la capacité de reprise en main d'un véhicule suite à une phase de conduite autonome durant laquelle le participant est engagé dans une tâche non liée à la conduite. Pour cela, vingt-neuf personnes jeunes d'âge moyen (25 ± 3 ans) et 21 personnes âgées d'âge moyen (70 ± 4 ans) ont été incluses dans l'étude. Tous les participants ont réalisé des tests neuropsychologiques pour évaluer leur niveau cognitif et complété des questionnaires concernant leurs habitudes de conduite. Ils ont ensuite réalisé une mise en situation sur simulateur de conduite. Les participants devaient reprendre en main le véhicule suite à des événements inattendus sur la route (ex. : travaux ou obstacle sur la route). La performance de reprise en main était mesurée par le temps de reprise en main du véhicule et les performances de conduite pendant la reprise en main (angle du volant, variation au niveau de l'angle du volant, vitesse, variabilité de la vitesse, position sur la voie, variabilité de la position sur la voie, et le temps minimum avant la collision). Pendant la phase autonome et avant la reprise en main, le participant était amené à réaliser une tâche d'empan pour évaluer l'impact d'une tâche avec une charge cognitive forte sur la performance de reprise en main. Les résultats de la mise en situation sur simulateur de conduite pour évaluer la performance de reprise en main montrent que les personnes âgées ont des temps de reprise en main plus longs que les jeunes, notamment lorsqu'ils sont engagés dans une autre tâche pendant la conduite autonome, ce qui est conforme aux résultats des études antérieures. Les conducteurs âgés ont également de plus faibles performances de reprise en main lorsqu'ils sont engagés dans une autre tâche pendant la phase autonome par rapport à la phase de conduite autonome seule. Dans le groupe des conducteurs jeunes, les performances de reprise en main sont similaires avec ou sans présence de la tâche cognitive pendant la phase autonome. Néanmoins, lorsque les deux groupes de conducteurs (jeunes/ âgés) sont engagés dans la tâche d'empan pendant la phase autonome, les performances de reprise en main (sauf le temps de reprise en main) ne diffèrent pas entre les groupes. En d'autres termes, à niveau de difficulté équivalent, nous n'avons pas montré de différences au niveau des performances de reprise en main entre les personnes âgées et les personnes jeunes. Il est possible que les conducteurs âgés adaptent déjà leur conduite après une phase de conduite autonome seule. Ils

sont globalement plus prudents : ils anticipent plus l'obstacle. Nous pouvons cependant remarquer une plus forte hétérogénéité des performances de reprise en main dans le groupe des conducteurs âgés, ce qui peut expliquer l'absence de différences de performances entre les groupes. Ces résultats seront valorisés prochainement par la publication d'articles scientifiques.

3. L'activité de marche et la compréhension des mécanismes cérébraux impliqués dans cette activité

Une nouvelle thématique plus récemment développée au sein du LESCOT concerne l'activité de marche et la compréhension des mécanismes cérébraux impliqués dans cette activité. **Mes perspectives de recherche sur la problématique de la marche dans les 10 prochaines années viseront, en grande partie, à mieux comprendre les mécanismes cérébraux impliqués dans les tâches de marche. J'envisage de mener ces recherches plus spécifiquement sur les personnes âgées et/ou présentant une pathologie neurologique en me basant sur le modèle STAC-r. Mes recherches sur la marche viseront à enrichir ce modèle pour mieux comprendre dans quelle mesure les caractéristiques individuelles, les interventions ou bien les mécanismes de neuroplasticité influent sur le fonctionnement cognitif et la performance de marche.** La marche sera évaluée dans des situations plus ou moins écologiques (en situation de laboratoire ou en situation réelle). Mieux comprendre la mobilité de ces personnes et les mécanismes cérébraux impliqués pendant des tâches de marche permettront de développer des programmes d'entraînement bien spécifiques. Ces programmes pourront d'ailleurs être réalisés à l'aide de la réalité virtuelle, en collaboration avec mes collègues du LESCOT (Bertrand Richard, Daniel N-Diaye).

Je participe actuellement à un projet intitulé « FoamEx – Dispositif intégré d'évaluation du niveau de protection de matériaux souples », porté par Maxime Llari (Laboratoire de Biomécanique Appliquée (LBA), Univ Eiffel) et financé par le Bonus Qualité Recherche du département TS2. Ce projet porte sur la mise en place d'une méthodologie de conception d'un dispositif de protection en cas de chute efficace en termes de réduction du risque de blessure et largement acceptable pour les utilisateurs. Les dispositifs visés concernent les amortisseurs de chocs utilisant des matériaux souples de type élastomères ou mousses. Dans ce contexte, je collabore avec Cécile Coquelet et Céline Parraud du Laboratoire Mécanismes d'Accidents (LMA) dans le but d'approfondir nos connaissances sur les facteurs de risque de chute en Ehpad et l'usage et l'acceptabilité des dispositifs de protection en cas de chute. Cette enquête, basée sur un recueil de données par le biais d'entretiens individuels semi-directifs auprès de personnes âgées et de questionnaires auprès des personnels soignants, vise à faire émerger des pistes

concernant l'usage ou non des dispositifs de protection existants et disponibles sur le marché et l'acceptabilité de tels dispositifs, les besoins de ces dispositifs du point de vue des soignants (médecins, infirmier.es, aide soignant.es...) vs de celui des personnes âgées. Ce projet s'inscrit dans la problématique de la marche et des risques de chute des personnes âgées. Pour aller plus loin, je poursuivrai les recherches pour une meilleure compréhension des mécanismes neurophysiologiques au cours de la marche, notamment chez les personnes âgées présentant un vieillissement normal ou pathologique.

3.1 Etude de l'activité cérébrale dans différentes régions pendant la marche

Jusqu'à maintenant, la plupart des recherches ont étudié l'activité corticale principalement au niveau du cortex préfrontal pendant la marche chez des personnes âgées et des personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson, en comparaison à des personnes jeunes (Stuart, Alcock, et al., 2019). Grâce au projet PARACHUTE et aux travaux de thèse d'Isabelle Hoang, nous avons montré que les personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson présentaient une activité préfrontale plus élevée que les personnes âgées, contrôles, même dans un tâche de marche simple (Ranchet, Hoang, et al., 2020). Les personnes âgées présentaient également une activité préfrontale plus élevée que les personnes jeunes et jeunes-âgées dès la marche simple, avec des performances de marche équivalentes à celles des jeunes (Hoang, Paire-Ficout, et al., 2022). Cette plus forte activation préfrontale reflète un besoin en ressources cognitives plus important de la part des personnes diagnostiquées avec la maladie de Parkinson et des personnes âgées. Mais qu'en est-il de l'activité corticale des autres régions ? L'exploration des autres régions en plus de la région préfrontale permettra d'étudier les mécanismes de compensation pouvant survenir dans la maladie de Parkinson pendant la marche par rapport au vieillissement normal. Il s'agira également de comparer les mécanismes de connectivité fonctionnelle entre les différentes régions, c'est-à-dire de comparer les interactions entre les différentes régions du cerveau, chez des personnes avec la maladie de Parkinson par rapport à des personnes âgées, contrôles. Ces travaux pourront faire l'objet d'une thèse en neurosciences ou neuropsychologie.

3.2 Effet du programme SIROCCO sur la neuroplasticité dans la maladie de Parkinson

Comme évoqué précédemment, l'exercice aérobie modifie la plasticité cérébrale. Une récente étude en IRM démontre qu'un programme d'exercices de type aérobie (par rapport à du stretching) d'une durée de 6 mois, entraîne une augmentation de la connectivité fonctionnelle au niveau du réseau fronto-pariétal droit, une amélioration au niveau cognitif et une réduction globale de l'atrophie chez des personnes avec la maladie de Parkinson (M. E. Johansson et al., 2022).

Nous avons pu montrer une réduction de l'activation préfrontale pendant une tâche de marche simple chez les patients parkinsoniens suite au programme SIROCCO (Hoang et al., 2022). La diminution au niveau de l'activité préfrontale après le programme suggère que les patients recrutent moins de ressources cognitives pour réaliser la tâche de marche simple. Indirectement, cela montre que le programme, à court terme, améliore l'automatisme de la marche dans la maladie de Parkinson. Ces résultats témoignent d'une certaine forme de neuroplasticité. Une synthèse de la littérature montre des modifications structurelles et fonctionnelles après une période d'exercice chez des personnes aux stades débutants à modérés de la maladie de Parkinson même si les études incluses dans cette synthèse incluent un petit nombre de personnes par groupe (H. Johansson et al., 2020). A ce jour, les effets à court-terme et à long terme du programme SIROCCO sur la neuroplasticité sont méconnus : les modifications fonctionnelles du cerveau suite au programme Sirocco n'ont pas été explorées. Il sera intéressant d'identifier 1) les régions pour lesquelles le programme SIROCCO entraîne une réduction de l'activation cérébrale lors de la marche. Cette réduction de l'activation cérébrale au niveau de certaines régions témoignerait d'une amélioration du fonctionnement cérébral. Les changements au niveau des mécanismes de connectivité fonctionnelle entre l'évaluation initiale et l'évaluation post-intervention pourront être explorés par deux techniques de neuro-imagerie : l'IRMf et la fNIRS. Tout particulièrement, les régions pariétales, frontales, occipitales seront particulièrement étudiées à l'aide de la fNIRS. Pour compléter cette exploration, nous envisageons également d'examiner l'activité cérébrale des régions sous corticales pendant une tâche de marche imaginée avec l'utilisation de l'IRMf du CERMEP, basé à Lyon. L'originalité d'une telle exploration repose sur le fait de pouvoir mesurer des modifications fonctionnelles chez une même personne. Il serait également intéressant d'étudier les effets à long terme (à 6 mois et à un an) du programme pour déterminer dans quelle mesure ces modifications fonctionnelles persistent dans le temps et ont un effet bénéfique sur l'autonomie et plus spécifiquement la marche. D'un point de vue clinique, ces travaux permettront de mettre en évidence les effets bénéfiques du programme SIROCCO sur la neuroplasticité cérébrale, la cognition, la marche et l'autonomie. D'un point de vue fondamental, ces travaux apporteront un nouvel éclairage sur les mécanismes de neuroplasticité pouvant avoir lieu suite à un programme de réadaptation chez les patients atteints de la maladie de Parkinson. En complément de ces recherches, nous souhaitons évaluer les effets du programme SIROCCO sur d'autres aspects de la maladie de Parkinson : l'autonomie, la mobilité, la participation sociale, la qualité de vie, le vécu de la maladie seront également mesurés. Pour cela, une équipe de chercheurs de disciplines différentes travailleront ensemble pour mieux comprendre les facteurs

qui participent à l'autonomie. Nous souhaitons également explorer une autre forme d'intervention, qui serait destinée aux personnes présentant une maladie de Parkinson, soit en complément du programme SIROCCO, soit pour celles qui n'ont pas pu avoir accès à ce programme. Cette partie sera portée par Caroline Pigeon, nouvelle chercheuse au LESCOT. L'ambition de ce projet serait de concevoir une intervention alternative au programme, mais inspiré du programme SIROCCO, en intégrant dès le processus de conception jusqu'à l'évaluation toutes les parties prenantes (patients, ergothérapeutes, médecins, aidants...). L'ensemble de ces travaux sont proposés pour financement à l'appel à projets « ANR Autonomie, vieillissement et Handicap », dont je suis la responsable scientifique. Ce projet ANR a été soumis le 17 Mars 2023 et a été présélectionné le 2 Juin 2023 (en attente d'une décision). Ces travaux seront menés en collaboration avec d'autres chercheurs spécialisés en psychologie (Laurence Paire-Ficout), neurosciences (Elise Metereau, Stéphane Perrey), informatique (Véronique Delcroix), anthropologie (Lucie Dalibert), philosophie (Elodie Giroux), les médecins impliqués dans le programme SIROCCO (Teodor Danaila, Maxime Cheminon, Jacques Luauté, Stéphane Thobois) et nos collaborateurs internationaux (Mélanie Levasseur, Hannes Devos).

Conclusion

L'ensemble des travaux de recherche que j'ai mené représente des enjeux forts en termes de santé publique, de mobilité et de sécurité routière. Mes recherches futures prendront également en compte les évolutions de notre société, en constante évolution, que ce soit au niveau des technologies, des modes de vie, des valeurs ou des besoins. Je tiens à souligner le fait que toutes les recherches menées ces dernières années et les recherches à venir sont le fruit d'une collaboration avec de nombreux collègues. Au niveau local, la plupart des travaux que je mène et que j'envisage de mener se fait en étroite collaboration avec Laurence Paire-Ficout et les partenaires hospitaliers lyonnais (les Hospices Civils de Lyon) : Hôpital Neurologique Pierre Wertheimer, Hôpital Henry Gabrielle, Hôpital des Charpennes. Dans le futur, j'aimerais renforcer mes collaborations avec mes collègues du LESCOT, notamment Caroline Pigeon, Alexandra Fort, Christophe Jallais et Thierry Bellet. Ces recherches ne seraient pas possibles sans la collaboration des professionnels (neurologues, médecins de physique et de réadaptation, neuropsychologues, moniteurs d'auto-école, ergothérapeutes...), les personnes participant à la recherche, les équipements du laboratoire (ex. : la spectroscopie proche infra-rouge fonctionnelle, le simulateur de conduite) et les financements (notamment ceux de la Délégation Sécurité Routière, et du département Transport Santé et Sécurité). Je tiens à souligner

l'environnement favorable du laboratoire pour développer et mener à bien nos recherches. Mes perspectives de recherche s'intègrent bien dans le nouveau projet scientifique du LESCOT (2023-2027), l'objectif étant de *comprendre l'humain et son activité en situation de déplacement pour permettre une mobilité adaptée à ses besoins en garantissant sa sécurité*. La plupart de mes travaux s'inscrivent dans les deux axes de recherche suivants : « *Influence de l'état de santé sur la mobilité* » et « *Comprendre les mécanismes attentionnels impliqués dans la mobilité* ».

Grâce aux différents projets (RETROUVE, EPICO, PARACHUTE), j'ai développé des collaborations au niveau national, notamment avec le Centre Mutualiste de rééducation de Kerpape de Bretagne (Pauline Coignard, Jean-Luc Le Guet) sur la problématique de la reprise de la conduite chez les personnes post-AVC. Plus récemment, je collabore avec le centre hospitalier universitaire (CHU) de Grenoble (Cécile Sabourdy) et le CHU de Tours (Helen Clery, Jérôme Graux) pour travailler sur la conduite des patients épileptiques et des patients schizophrènes, respectivement. Sur la problématique de la marche, je collabore avec le laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH) et notamment avec Véronique Delcroix, enseignant chercheur en Informatique à l'Université Polytechnique Hauts de France. Je collabore également avec le laboratoire Euromov et notamment Stéphane Perrey, enseignant chercheur à l'université de Montpellier. Au niveau international, je travaille en étroite collaboration avec Hannes Devos (Kansas University Medical Center) sur les problématiques de mobilité et de vieillissement pathologique depuis 2014 et j'espère poursuivre cette collaboration fructueuse et enrichissante de longues années encore.

Grâce aux financements de l'Université Gustave Eiffel, j'ai eu la chance d'encadrer Isabelle Hoang sur sa thèse portant sur la marche dans le vieillissement normal et pathologique. Cette première expérience d'encadrement a été très enrichissante et j'ai apprécié ce rôle d'encadrante. Je continue à apprécier l'encadrement avec Clara Gasne qui est en thèse sur la problématique de la reprise de la conduite chez les patients post-AVC. Je prends également plaisir à encadrer les étudiants en Master et j'espère pouvoir leur transmettre les bons côtés de la recherche. L'encadrement ou la direction/ co-direction d'étudiants en thèse ou master en neuropsychologie, neurosciences, santé se poursuivra dans les prochaines années.

Références

- Ahmadlou, M., Adeli, A., Bajo, R., & Adeli, H. (2014). Complexity of functional connectivity networks in mild cognitive impairment subjects during a working memory task. *Clinical Neurophysiology*, *125*, 694-702. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.08.033>
- Ahmadnezhad, P., Burns, J. M., Akinwuntan, A. E., Ranchet, M., Kondily, A., MahnKen, J. D., & Devos, H. (in revision). *Automated driving for older adults with cognitive impairment : A pilot study*.
- Ahmadnezhad, P., Burns, J. M., Akinwuntan, A. E., Ranchet, M., Kondily, A., MahnKen, J., & Devos, H. (in press). Driving automation for older adults with preclinical Alzheimer's disease. *Gerontology*.
- Al-Yahya, E., Dawes, H., Smith, L., Dennis, A., Howells, K., & Cockburn, J. (2011). Cognitive motor interference while walking : A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *35*(3), 715-728. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2010.08.008>
- Anguera, J. A., Reuter-Lorenz, P. A., Willingham, D. T., & Seidler, R. D. (2010). Contributions of Spatial Working Memory to Visuomotor Learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(9), 1917-1930. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21351>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2004.07.008>
- Antwi, P., Atac, E., Ryu, J. H., Arencibia, C. A., Tomatsu, S., Saleem, N., Wu, J., Crowley, M. J., Banz, B., Vaca, F. E., Krestel, H., & Blumenfeld, H. (2019). Driving status of patients with generalized spike-wave on EEG but no clinical seizures. *Epilepsy & Behavior: E&B*, *92*, 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2018.11.031>
- Arrêté du 28 mars 2022 modifiant l'arrêté du 31 juillet 2012 relatif à l'organisation du contrôle médical de l'aptitude à la conduite, Pub. L. No. 28, NOR : INTS2208151A 27 (2022). <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2022/3/28/INTS2208151A/jo/texte>
- Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *24*(3), 780-790. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.24.3.780>

- Baleste, F. (2022). *La marche dans la maladie de Parkinson : Les mécanismes de compensation et aires cérébrales impliquées dans les troubles de la marche* [Mémoire de Master 1].
- Ban, T., Ishishita, Y., Tetsuka, M., Uchiyama, T., Ohtani, K., & Kawai, K. (2020). Timelined multimodal recording of EEG and driving performance using a driving simulator system during a focal impaired awareness seizure. *Epilepsy & Behavior Reports*, *13*, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.ebr.2020.100356>
- Beurskens, R., Helmich, I., Rein, R., & Bock, O. (2014). Age-related changes in prefrontal activity during walking in dual-task situations : A fNIRS study. *International Journal of Psychophysiology*, *92*(3), 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.03.005>
- Biedermann, F., Kurzthaler, I., Haibach, M., Pardeller, S., Pichler, T., Kemmler, G., Holzner, B., & Hofer, A. (2022). Driving fitness in clinically stable outpatients with chronic schizophrenia. *Comprehensive Psychiatry*, *118*, 152340. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2022.152340>
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults : The HAROLD model. *Psychology and Aging*, *17*(1), 85-100. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.17.1.85>
- Cappell, K. A., Gmeindl, L., & Reuter-Lorenz, P. A. (2010). Age differences in prefrontal recruitment during verbal working memory maintenance depend on memory load. *Cortex*, *46*, 462-473. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.11.009>
- Chaudhuri, A., & Behan, P. O. (2004). Fatigue in neurological disorders. *Lancet (London, England)*, *363*(9413), 978-988. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)15794-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)15794-2)
- Chen, W. C., Chen, E. Y., Gebre, R. Z., Johnson, M. R., Li, N., Vitkovskiy, P., & Blumenfeld, H. (2014). Epilepsy and driving : Potential impact of transient impaired consciousness. *Epilepsy & Behavior*, *30*, 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2013.09.024>
- Chihuri, S., Mielenz, T. J., DiMaggio, C. J., Betz, M. E., DiGuseppi, C., Jones, V. C., & Li, G. (2016). Driving Cessation and Health Outcomes in Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, *64*(2), 332-341. <https://doi.org/10.1111/jgs.13931>
- Clark, D. J. (2015). Automaticity of walking : Functional significance, mechanisms, measurement and rehabilitation strategies. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 246. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00246>

Classen, S., Crizzle, A. M., Winter, S. M., Silver, W., & Eisenschenk, S. (2012). Evidence-based review on epilepsy and driving. *Epilepsy & Behavior*, 23(2), 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2011.11.015>

Collette, F., Van der Linden, M., Laureys, S., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., & Salmon, E. (2005). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping*, 25(4), 409-423. <https://doi.org/10.1002/hbm.20118>

Comète France, SOFMER, FEDMER, IFSTTAR. (2016). *Reprise de la conduite automobile après lésion cérébrale acquise non évolutive—Recommandation de bonne pratique, labellisée par la Haute Autorité de Santé (HAS)* (p. 1-43). https://www.has-sante.fr/jcms/c_2590287/fr/label-de-la-has-reprise-de-la-conduite-automobile-apres-lesion-cerebrale-acquise-non-evolutive

Cools, R., Barker, R. A., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2001). Mechanisms of cognitive set flexibility in Parkinson's disease. *Brain: A Journal of Neurology*, 124(Pt 12), 2503-2512. <https://doi.org/10.1093/brain/124.12.2503>

Crizzle, A. M., Classen, S., Winter, S. M., Silver, W., LaFranca, C., & Eisenschenk, S. (2012). Associations between clinical tests and simulated driving performance in persons with epilepsy. *Epilepsy & Behavior*, 23(3), 241-246. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2011.12.019>

Cubo, E., Martinez Martin, P., Gonzalez, M., Bergareche, A., Campos, V., Fernández, J. M., Álvarez, M., Bayes, A., Rodriguez-Balzquez, & On Behalf of the Elep Group. (2010). What contributes to driving ability in Parkinson's disease. *Disability and Rehabilitation*, 32(5), 374-378. <https://doi.org/10.3109/09638280903168507>

Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 18(5), 1201-1209. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm155>

De las Cuevas, C., Ramallo, Y., & Sanz, E. J. (2010). Psychomotor performance and fitness to drive: The influence of psychiatric disease and its pharmacological treatment. *Psychiatry Research*, 176(2), 236-241. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2009.02.013>

Delbaere, K., Close, J. C. T., Brodaty, H., Sachdev, P., & Lord, S. R. (2010). Determinants of disparities between perceived and physiological risk of falling among elderly people: Cohort study. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 341, c4165.

- Delphin-Combe, F., Coste, M.-H., Bachelet, R., Llorens, M., Gentil, C., Giroux, M., Paire-Ficout, L., Ranchet, M., & Krolak-Salmon, P. (2022). An innovative therapeutic educational program to support older drivers with cognitive disorders : Description of a randomized controlled trial study protocol. *Frontiers in Neurology*, *13*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2022.901100>
- Devos, H., Morgan, J. C., Onyeamaechi, A., Bogle, C. A., Holton, K., Kruse, J., Sasser, S., & Akinwuntan, A. E. (2016). Use of a driving simulator to improve on-road driving performance and cognition in persons with Parkinson's disease : A pilot study. *Australian Occupational Therapy Journal*, *63*(6), 408-414. <https://doi.org/10.1111/1440-1630.12263>
- Devos, H., Ranchet, M., Emmanuel Akinwuntan, A., & Uc, E. Y. (2015). Establishing an evidence-base framework for driving rehabilitation in Parkinson's disease : A systematic review of on-road driving studies. *NeuroRehabilitation*, *37*(1), 35-52. <https://doi.org/10.3233/NRE-151239>
- Devos, H., Vandenberghe, W., Nieuwboer, A., Tant, M., Baten, G., & De Weerd, W. (2007). Predictors of fitness to drive in people with Parkinson disease. *Neurology*, *69*(14), 1434-1441. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000277640.58685.fc>
- Dobbs, B. M., Harper, L. A., & Wood, A. (2009). Transitioning From Driving to Driving Cessation : The Role of Specialized Driving Cessation Support Groups for Individuals With Dementia. In *Transitioning from Driver to Passenger* (Vol. 25, p. 73-86). [//www.nursingcenter.com/journalarticle?Article_ID=843267&Journal_ID=515682&Issue_ID=843238](http://www.nursingcenter.com/journalarticle?Article_ID=843267&Journal_ID=515682&Issue_ID=843238)
- Dommes, A., Lay, T. L., Vienne, F., Dang, N.-T., Beaudoin, A. P., & Do, M. C. (2015). Towards an explanation of age-related difficulties in crossing a two-way street. *Accident Analysis & Prevention*, *85*(Supplement C), 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.022>
- Données et études statistiques. (2019). *Résultats détaillés de l'enquête mobilité des personnes 2019*. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/resultats-detailles-de-lenquete-mobilite-des-personnes-de-2019>

- Dorsey, E. R., Sherer, T., Okun, M. S., & Bloem, B. R. (2018). The Emerging Evidence of the Parkinson Pandemic. *Journal of Parkinson's Disease*, 8(s1), S3-S8. <https://doi.org/10.3233/JPD-181474>
- Dubinsky, R. M., Gray, C., Husted, D., Busenbark, K., Vetere-Overfield, B., Wiltfong, D., Parrish, D., & Koller, W. C. (1991). Driving in Parkinson's disease. *Neurology*, 41(4), 517-520.
- Dujardin, K., & Defebvre, L. (2008). *Neuropsychologie de la maladie de Parkinson et des syndromes apparentés* (2. éd). Elsevier Masson.
- Eyler, L. T., Sherzai, A., Kaup, A. R., & Jeste, D. V. (2011). A review of functional brain imaging correlates of successful cognitive aging. *Biological Psychiatry*, 70(2), 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.12.032>
- Farley, B. G., & Koshland, G. F. (2005). Training BIG to move faster : The application of the speed-amplitude relation as a rehabilitation strategy for people with Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*, 167(3), 462-467. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0179-7>
- Favaro, F. M., Seewald, P., Scholtes, M., & Eurich, S. (2019). Quality of control takeover following disengagements in semi-automated vehicles. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 196-212. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.05.004>
- Fonda, S. J., Wallace, R. B., & Herzog, A. R. (2001). Changes in Driving Patterns and Worsening Depressive Symptoms Among Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series B*, 56(6), S343-S351. <https://doi.org/10.1093/geronb/56.6.S343>
- Fraser, S. A., Dupuy, O., Pouliot, P., Lesage, F., & Bherer, L. (2016). Comparable Cerebral Oxygenation Patterns in Younger and Older Adults during Dual-Task Walking with Increasing Load. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 240. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00240>
- Fuermaier, A. B. M., Piersma, D., Huntjens, R. J. C., de Waard, D., Westermann, C., Bossert, M., Lange, K. W., Weisbrod, M., Bruggeman, R., Aschenbrenner, S., & Tucha, O. (2019). Simulated car driving and its association with cognitive abilities in patients with schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 204, 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2018.09.005>
- Gagnon, S. (2010). Le vieillissement réussi et la conduite automobile : Et si la relation était bidirectionnelle ? *Revue de neuropsychologie*, 2(2), 98. <https://doi.org/10.3917/rne.022.0098>

Gallot, A. M., Amini, E., Lauwick, P., & Richter, D. (2022). Le modèle réglementaire français : Place des médecins agréés et actualités pour l'aptitude médicale à la conduite. *Actualités en Médecine Physique et de Réadaptation*.

Gasne, C., Hoang, I., Ranchet, M., Le Guiet, J.-L., Delebecque, M.-C., Evennou, M., Allain, C., Guillaume, E., Penvern, N., Paire-Ficout, L., & Coignard, P. (2022). Accident vasculaire cérébral et reprise de la conduite. *Actualités en Médecine Physique et de Réadaptation*.

Gasne, C., Paire-Ficout, L., Bordel, S., Lafont, S., & Ranchet, M. (2022). Take-over performance of Older Drivers in Automated Driving : A Review. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour*.

GBD 2015 Neurological Disorders Collaborator Group. (2017). Global, regional, and national burden of neurological disorders during 1990-2015 : A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet. Neurology*, 16(11), 877-897. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(17\)30299-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(17)30299-5)

Gilliam, F., Kuzniecky, R., Faught, E., Black, L., Carpenter, G., & Schrodt, R. (1997). Patient-validated content of epilepsy-specific quality-of-life measurement. *Epilepsia*, 38(2), 233-236. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1997.tb01102.x>

Hamacher, D., Hamacher, D., & Schega, L. (2014). Towards the importance of minimum toe clearance in level ground walking in a healthy elderly population. *Gait & Posture*, 40(4), 727-729. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.07.016>

Hamacher, D., Herold, F., Wiegel, P., Hamacher, D., & Schega, L. (2015). Brain activity during walking : A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 57, 310-327. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.08.002>

HAS. (2018). *Patients présentant un trouble neurocognitif associé à la maladie d'Alzheimer ou à une maladie apparentée* (p. 1-34). https://www.has-sante.fr/jcms/c_2906096/fr/patients-presentant-un-trouble-neurocognitif-associe-a-la-maladie-d-alzheimer-ou-a-une-maladie-apparentee

Hausdorff, J. M. (2009). Gait dynamics in Parkinson's disease : Common and distinct behavior among stride length, gait variability, and fractal-like scaling. *Chaos*, 19(2). <https://doi.org/10.1063/1.3147408>

Heikkilä, V. M., Turkka, J., Korpelainen, J., Kallanranta, T., & Summala, H. (1998). Decreased driving ability in people with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *64*(3), 325-330.

Hertzog, C., Dixon, R. A., Hulstsch, D. F., & MacDonald, S. W. S. (2003). Latent change models of adult cognition: Are changes in processing speed and working memory associated with changes in episodic memory? *Psychology and Aging*, *18*(4), 755-769. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.4.755>

Hoang, I. (2021). *Effets du vieillissement sur la marche : Approche multifactorielle*. Université Gustave Eiffel.

Hoang, I., Gasne, C., Evennou, M., Ranchet, M., & Paire-Ficout, L. (2022). *RETROUVE : Reprise de la conduite automobile chez les personnes victimes d'accident vasculaire cérébrale* [Livrable intermédiaire].

Hoang, I., Paire-Ficout, L., Derollepot, R., Perrey, S., Devos, H., & Ranchet, M. (2022). Increased prefrontal activity during usual walking in aging. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, *174*, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2022.01.011>

Hoang, I., Ranchet, M., Cheminon, M., Derollepot, R., Devos, H., Perrey, S., Luauté, J., Danaïla, T., & Paire-Ficout, L. (2022). An intensive exercise-based training program reduces prefrontal activity during usual walking in patients with Parkinson's disease. *Clinical Parkinsonism & Related Disorders*, *6*, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.prdoa.2021.100128>

Hoang, I., Ranchet, M., & Paire-Ficout, L. (2018). Cognitive load during a walking task: A pilot study. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *61*, e445. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.1036>

Hoehn, M. M., & Yahr, M. D. (1967). Parkinsonism: Onset, progression and mortality. *Neurology*, *17*(5), 427-442. <https://doi.org/10.1212/wnl.17.5.427>

Holtzer, R., Mahoney, J. R., Izzetoglu, M., Izzetoglu, K., Onaral, B., & Verghese, J. (2011). FNIRS Study of Walking and Walking While Talking in Young and Old Individuals. *The Journals of Gerontology: Series A*, *66A*(8), 879-887. <https://doi.org/10.1093/gerona/66A8>

Homann, C. N., Suppan, K., Homann, B., Crevenna, R., Ivanic, G., & Ruzicka, E. (2003). Driving in Parkinson's disease—A health hazard? *Journal of Neurology*, 250(12), 1439-1446. <https://doi.org/10.1007/s00415-003-0239-5>

Interdiction de conduire visant toute personne atteinte de troubles cognitifs. (2022). senat. http://www.senat.fr/basile/visio.do?id=qSEQ220427668&idtable=q410550|q409751|q408849|q408272|q408059|q413040|q411918|q411932|q412031|q412051&_s=07033P&rch=qa&de=19780101&au=20220429&dp=1+an&radio=deau&appr=text&aff=sep&tri=dd&off=0&afd=ppr&afd=ppl&afd=pjl&afd=cvn

Johansson, H., Hagströmer, M., Grooten, W. J. A., & Franzén, E. (2020). Exercise-Induced Neuroplasticity in Parkinson's Disease : A Metasynthesis of the Literature. *Neural Plasticity*, 2020, 8961493. <https://doi.org/10.1155/2020/8961493>

Johansson, M. E., Cameron, I. G. M., Van der Kolk, N. M., de Vries, N. M., Klimars, E., Toni, I., Bloem, B. R., & Helmich, R. C. (2022). Aerobic Exercise Alters Brain Function and Structure in Parkinson's Disease : A Randomized Controlled Trial. *Annals of Neurology*, 91(2), 203-216. <https://doi.org/10.1002/ana.26291>

Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Kahya, M., Moon, S., Ranchet, M., Vukas, R. R., Lyons, K. E., Pahwa, R., Akinwuntan, A., & Devos, H. (2019). Brain activity during dual task gait and balance in aging and age-related neurodegenerative conditions : A systematic review. *Experimental Gerontology*, 128, 110756. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2019.110756>

Kaller, C. P., Rahm, B., Spreer, J., Weiller, C., & Unterrainer, J. M. (2011). Dissociable contributions of left and right dorsolateral prefrontal cortex in planning. *Cerebral cortex*, 21(2), 307-317.

Klimkeit, E. I., Bradshaw, J. L., Charlton, J., Stolwyk, R., & Georgiou-Karistianis, N. (2009). Driving ability in Parkinson's disease: Current status of research. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(3), 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.005>

Körber, M., Gold, C., Lechner, D., & Bengler, K. (2016). The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 39, 19-32. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.03.002>

- Kumar, J. V., & Vatsala, M. (2019). Cross sectional study to determine the cognitive impairment among epilepsy patients. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 7(5), 1465. <https://doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20191463>
- 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. <https://doi.org/10.1177/0891988708316861>
- Li, S., Blythe, P., Guo, W., & Namdeo, A. (2018). Investigation of older driver's takeover performance in highly automated vehicles in adverse weather conditions. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(9), 1157-1165. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.0104>
- Li, S., Blythe, P., Guo, W., & Namdeo, A. (2019a). Investigating the effects of age and disengagement in driving on driver's takeover control performance in highly automated vehicles. *Transportation Planning and Technology*, 42(5), 470-497. <https://doi.org/10.1080/03081060.2019.1609221>
- Li, S., Blythe, P., Guo, W., & Namdeo, A. (2019b). Investigation of older drivers' requirements of the human-machine interaction in highly automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, pp 546-563.
- Liddle, J., Liu, X., Aplin, T., & Gustafsson, L. (2015). The experiences of peer leaders in a driving cessation programme. *British Journal of Occupational Therapy*, 78(6), 383-390. <https://doi.org/10.1177/0308022614562403>
- Liddle, J., McKenna, K., & Bartlett, H. (2006). Improving outcomes for older retired drivers : The UQDRIVE program. *Australian Occupational Therapy Journal*, 0(0), 061113012540007-???. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1630.2006.00614.x>
- Liddle, J., Reaston, T., Pachana, N., Mitchell, G., & Gustafsson, L. (2014). Is planning for driving cessation critical for the well-being and lifestyle of older drivers? *International Psychogeriatrics*, 26(7), 1111-1120. <https://doi.org/10.1017/S104161021400060X>
- Lindstrom-Forneri, W., Tuokko, H. A., Garrett, D., & Molnar, F. (2010). Driving as an Everyday Competence : A Model of Driving Competence and Behavior. *Clinical Gerontologist*, 33(4), 283-297. <https://doi.org/10.1080/07317115.2010.502106>

Lings, S., & Dupont, E. (1992). Driving with Parkinson's disease. A controlled laboratory investigation. *Acta Neurologica Scandinavica*, 86(1), 33-39.

Maestu, F. C. (2008). Increased biomagnetic activity in the ventral pathway in mild cognitive impairment. *Clinical Neurophysiology*, 119, 1320-1327. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.01.105>

Maidan, I., Nieuwhof, F., Bernad-Elazari, H., Bloem, B. R., Giladi, N., Hausdorff, J. M., Claassen, J. A. H. R., & Mirelman, A. (2018). Evidence for Differential Effects of 2 Forms of Exercise on Prefrontal Plasticity During Walking in Parkinson's Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 32(3), 200-208. <https://doi.org/10.1177/1545968318763750>

Maidan, I., Nieuwhof, F., Bernad-Elazari, H., Reelick, M. F., Bloem, B. R., Giladi, N., Deutsch, J. E., Hausdorff, J. M., Claassen, J. A. H., & Mirelman, A. (2016). The Role of the Frontal Lobe in Complex Walking Among Patients With Parkinson's Disease and Healthy Older Adults : An fNIRS Study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 30(10), 963-971. <https://doi.org/10.1177/1545968316650426>

Maidan, I., Rosenberg-Katz, K., Jacob, Y., Giladi, N., Deutsch, J. E., Hausdorff, J. M., & Mirelman, A. (2016). Altered brain activation in complex walking conditions in patients with Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 25, 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2016.01.025>

Maidan, I., Rosenberg-Katz, K., Jacob, Y., Giladi, N., Hausdorff, J. M., & Mirelman, A. (2017). Disparate effects of training on brain activation in Parkinson disease. *Neurology*, 89(17), 1804-1810. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004576>

Marottoli, R. A., de Leon CFM, null, Glass, T. A., Williams, C. S., Cooney, L. M., & Berkman, L. F. (2000). Consequences of driving cessation : Decreased out-of-home activity levels. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 55(6), S334-340. <https://doi.org/10.1093/geronb/55.6.s334>

Martins, R., Joannette, Y., & Monchi, O. (2015). The implications of age-related neurofunctional compensatory mechanisms in executive function and language processing including the new Temporal Hypothesis for Compensation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 221. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00221>

- Mathias, J. L., & Lucas, L. K. (2009). Cognitive predictors of unsafe driving in older drivers : A meta-analysis. *International Psychogeriatrics*, 21(4), 637-653. <https://doi.org/10.1017/S1041610209009119>
- Mattay, V. S., Fera, F., Tessitore, A., Hariri, A. R., Berman, K. F., Das, S., Meyer-Lindenberg, A., Goldberg, T. E., Callicott, J. H., & Weinberger, D. R. (2006). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory capacity. *Neuroscience Letters*, 392(1-2), 32-37. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.09.025>
- McLay, P. (1989). The parkinsonian and driving. *International Disability Studies*, 11(1), 50-51. <https://doi.org/10.3109/02599148909166382>
- Meindorfner, C., Körner, Y., Möller, J. C., Stiasny-Kolster, K., Oertel, W. H., & Krüger, H.-P. (2005). Driving in Parkinson's disease : Mobility, accidents, and sudden onset of sleep at the wheel. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 20(7), 832-842. <https://doi.org/10.1002/mds.20412>
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models : What do we know, what should be do? In *Human Behavior and traffic safety* (L. Evans et R. C. Schwing, p. 485-520).
- Miller, D., Johns, M., Ive, H. P., Gowda, N., Sirkin, D., Sibi, S., Mok, B., Aich, S., & Ju, W. (2016). *Exploring Transitional Automation with New and Old Drivers*. 2016-01-1442. <https://doi.org/10.4271/2016-01-1442>
- Mirelman, A., Bonato, P., Camicioli, R., Ellis, T. D., Giladi, N., Hamilton, J. L., Hass, C. J., Hausdorff, J. M., Pelosin, E., & Almeida, Q. J. (2019). Gait impairments in Parkinson's disease. *The Lancet. Neurology*, 18(7), 697-708. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(19\)30044-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(19)30044-4)
- Mirelman, A., Maidan, I., Bernad-Elazari, H., Shustack, S., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2017). Effects of aging on prefrontal brain activation during challenging walking conditions. *Brain and Cognition*, 115, 41-46. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.04.002>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex « Frontal Lobe » tasks : A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

- Moon, S., Ranchet, M., Akinwuntan, A. E., Tant, M., Carr, D. B., Raji, M. A., & Devos, H. (2018). The Impact of Advanced Age on Driving Safety in Adults with Medical Conditions. *Gerontology*. <https://doi.org/10.1159/000486511>
- Moon, S., Ranchet, M., Tant, M., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Comparison of Unsafe Driving Across Medical Conditions. *Mayo Clinic Proceedings*, 92(9), 1341-1350. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2017.06.003>
- Muslimovic, D., Post, B., Speelman, J. D., & Schmand, B. (2005). Cognitive profile of patients with newly diagnosed Parkinson disease. *Neurology*, 65(8), 1239-1245. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000180516.69442.95>
- Muslimovic, D., Post, B., Speelman, J. D., Schmand, B., de Haan, R. J., & CARPA Study Group. (2008). Determinants of disability and quality of life in mild to moderate Parkinson disease. *Neurology*, 70(23), 2241-2247. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000313835.33830.80>
- Nóbrega-Sousa, P., Gobbi, L. T. B., Orcioli-Silva, D., Conceição, N. R. da, Beretta, V. S., & Vitória, R. (2020). Prefrontal Cortex Activity During Walking: Effects of Aging and Associations With Gait and Executive Function. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 34(10), 915-924. <https://doi.org/10.1177/1545968320953824>
- Orcioli-Silva, D., Vitória, R., Nóbrega-Sousa, P., da Conceição, N. R., Beretta, V. S., Lirani-Silva, E., & Gobbi, L. T. B. (2020). Levodopa Facilitates Prefrontal Cortex Activation During Dual Task Walking in Parkinson Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 34(7), 589-599. <https://doi.org/10.1177/1545968320924430>
- Organisation Mondiale de la Santé. (2022). *La démence*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia>
- Orlosky, J., Itoh, Y., Ranchet, M., Kiyokawa, K., Morgan, J., & Devos, H. (2017). Emulation of Physician Tasks in Eye-tracked Virtual Reality for Remote Diagnosis of Neurodegenerative Disease. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2657018>
- Owen, A. M. (1997). The functional organization of working memory processes within human lateral frontal cortex : The contribution of functional neuroimaging. *The European Journal of Neuroscience*, 9(7), 1329-1339. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.1997.tb01487.x>

- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain : Aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093656>
- Park, J., Carp, J., Kennedy, K. M., Rodrigue, K. M., Bischof, G. N., Huang, C.-M., Rieck, J. R., Polk, T. A., & Park, D. C. (2012). Neural broadening or neural attenuation? Investigating age-related dedifferentiation in the face network in a large lifespan sample. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 32(6), 2154-2158. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4494-11.2012>
- Pelicioni, P. H. S., Menant, J. C., Henderson, E. J., Latt, M. D., Brodie, M. A., & Lord, S. R. (2021). Mild and marked executive dysfunction and falls in people with Parkinson's disease. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 25(4), 437-443. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2020.11.005>
- Pelicioni, P. H. S., Tijmsa, M., Lord, S. R., & Menant, J. (2019). Prefrontal cortical activation measured by fNIRS during walking : Effects of age, disease and secondary task. *PeerJ*, 7, e6833. <https://doi.org/10.7717/peerj.6833>
- Peng, Q., & Iwaki, S. (2020). Visual attention of young and older drivers in takeover tasks of highly automated driving. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12207 LNCS, 210-221. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50252-2_16
- Peterson, D. S., Pickett, K. A., Duncan, R. P., Perlmutter, J. S., & Earhart, G. M. (2014). Brain activity during complex imagined gait tasks in Parkinson disease. *Clinical Neurophysiology*, 125(5), 995-1005. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.10.008>
- Petzinger, G. M., Fisher, B. E., McEwen, S., Beeler, J. A., Walsh, J. P., & Jakowec, M. W. (2013). Exercise-enhanced neuroplasticity targeting motor and cognitive circuitry in Parkinson's disease. *The Lancet. Neurology*, 12(7), 716-726. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(13\)70123-6](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(13)70123-6)
- Postle, B. R., Jonides, J., Smith, E. E., Corkin, S., & Growdon, J. H. (1997). Spatial, but not object, delayed response is impaired in early Parkinson's disease. *Neuropsychology*, 11(2), 171-179. <https://doi.org/10.1037//0894-4105.11.2.171>

Postle, B. R., Locascio, J. J., Corkin, S., & Growdon, J. H. (1997). The time course of spatial and object learning in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 35(10), 1413-1422. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(97\)00054-7](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(97)00054-7)

Ranchet, M. (2011). *Effet de la maladie de Parkinson sur la conduite automobile : Implication des fonctions exécutives*. Université de Lyon.

Ranchet, M., Akinwuntan, A. E., Tant, M., Neal, E., & Devos, H. (2015). Agreement Between Physician's Recommendation and Fitness-to-Drive Decision in Multiple Sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(10), 1840-1844. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.06.010>

Ranchet, M., Akinwuntan, A. E., Tant, M., Salch, A., Neal, E., & Devos, H. (2016). Fitness-to-drive agreements after stroke : Medical versus practical recommendations. *European Journal of Neurology*, 23(9), 1408-1414. <https://doi.org/10.1111/ene.13050>

Ranchet, M., Broussolle, E., & Paire-Ficout, L. (2016). Longitudinal Executive Changes in Drivers with Parkinson's Disease : Study Using Neuropsychological and Driving Simulator Tasks. *European Neurology*, 76(3-4), 143-150. <https://doi.org/10.1159/000448992>

Ranchet, M., Broussolle, E., Poisson, A., & Paire-Ficout, L. (2012). Relationships between cognitive functions and driving behavior in Parkinson's disease. *European Neurology*, 68(2), 98-107. <https://doi.org/10.1159/000338264>

Ranchet, M., Devos, H., & Uc, E. Y. (2020). Driving in Parkinson Disease. *Clinics in Geriatric Medicine*, 36(1), 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2019.09.007>

Ranchet, M., Hoang, I., Cheminon, M., Derollepot, R., Devos, H., Perrey, S., Luauté, J., Danaila, T., & Paire-Ficout, L. (2020). Changes in prefrontal cortical activity during walking and cognitive functions among patients with Parkinson's disease. *Frontiers in Neurology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.601686>

Ranchet, M., Hoang, I., Derollepot, R., & Paire-Ficout, L. (2023). Between-sessions test-retest reliability of prefrontal cortical activity during usual walking in patients with Parkinson's Disease : A fNIRS study. *Gait & Posture*, S0966636223001170. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.05.003>

- Ranchet, M., Morgan, J. C., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Cognitive workload across the spectrum of cognitive impairments: A systematic review of physiological measures. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 80, 516-537. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.001>
- Ranchet, M., Morgan, J. C., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2020). Visual search and target detection during simulated driving in Parkinson's disease. *Accident Analysis & Prevention*, 134, 105328. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105328>
- Ranchet, M., Orlosky, J., Morgan, J., Qadir, S., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Pupillary response to cognitive workload during saccadic tasks in Parkinson's disease. *Behavioural Brain Research*, 327, 162-166. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.03.043>
- Ranchet, M., Paire-Ficout, L., Marin-Lamellet, C., Laurent, B., & Broussolle, E. (2011). Impaired updating ability in drivers with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 82(2), 218-223. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2009.203166>
- Ranchet, M., Paire-Ficout, L., Uc, E. Y., Bonnard, A., Sornette, D., & Broussolle, E. (2013). Impact of specific executive functions on driving performance in people with Parkinson's disease. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 28(14), 1941-1948. <https://doi.org/10.1002/mds.25660>
- Ranchet, M., Tant, M., Akinwuntan, A. E., Morgan, J. C., & Devos, H. (2016). Fitness-to-drive Disagreements in Individuals With Dementia. *The Gerontologist*. <https://doi.org/10.1093/geront/gnw119>
- Ranchet, M., Tant, M., Akinwuntan, A. E., Neal, E., & Devos, H. (2016). Comorbidity in Drivers with Parkinson's Disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, 64(2), 342-346. <https://doi.org/10.1111/jgs.13942>
- Rapoport, M. J., Cameron, D. H., Sanford, S., Naglie, G., & Canadian Consortium on Neurodegeneration in Aging Driving and Dementia Team. (2017). A systematic review of intervention approaches for driving cessation in older adults. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 32(5), 484-491. <https://doi.org/10.1002/gps.4681>
- Raz, N., & Rodrigue, K. M. (2006). Differential aging of the brain: Patterns, cognitive correlates and modifiers. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(6), 730-748. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.07.001>

- Reuter-Lorenz, P. A., & Cappell, K. A. (2008). Neurocognitive Aging and the Compensation Hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 177-182. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00570.x>
- Reuter-Lorenz, P. A., Jonides, J., Smith, E. E., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C., & Koeppel, R. A. (2000). Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 174-187. <https://doi.org/10.1162/089892900561814>
- Reuter-Lorenz, P. A., & Park, D. C. (2010). Human Neuroscience and the Aging Mind : A New Look at Old Problems. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 65B(4), 405-415. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbq035>
- Reuter-Lorenz, P. A., & Park, D. C. (2014). How does it STAC up? Revisiting the scaffolding theory of aging and cognition. *Neuropsychology Review*, 24(3), 355-370. <https://doi.org/10.1007/s11065-014-9270-9>
- Rheims, S., & Auvin, S. (2021). Attention deficit/hyperactivity disorder and epilepsy. *Current Opinion in Neurology*, 34(2), 219-225. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000903>
- Roche, P. (2017). *Evaluation des effets à court terme et long terme d'un programme de rééducation multidisciplinaire collectif intensif sur 5 semaines chez des patients parkinsoniens*. Université Claude Bernard Lyon 1.
- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1997). Successful aging. *The Gerontologist*, 37(4), 433-440. <https://doi.org/10.1093/geront/37.4.433>
- Saji, M., Kanemoto, K., Matsuoka, E., & Iwamoto, K. (2021). Impact of antiepileptic drugs on simulated driving in patients with epilepsy. *Seizure*, 92, 195-199. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2021.09.003>
- Salat, D. H., Buckner, R. L., Snyder, A. Z., Greve, D. N., Desikan, R. S. R., Busa, E., Morris, J. C., Dale, A. M., & Fischl, B. (2004). Thinning of the cerebral cortex in aging. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 14(7), 721-730. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhh032>
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.103.3.403>

Salthouse, T. A., & Babcock, R. L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental Psychology*, 27(5), 763-776. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.27.5.763>

Schneider-Garces, N. J., Gordon, B. A., Brumback-Peltz, C. R., Shin, E., Lee, Y., Sutton, B. P., Maclin, E. L., Gratton, G., & Fabiani, M. (2010). Span, CRUNCH, and Beyond : Working Memory Capacity and the Aging Brain. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(4), 655-669. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21230>

Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A. J., Zimmermann, R., Mata Pavia, J., Wolf, U., & Wolf, M. (2014). A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *NeuroImage*, 85, 6-27. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.004>

Schootemeijer, S., van der Kolk, N. M., Bloem, B. R., & de Vries, N. M. (2020). Current Perspectives on Aerobic Exercise in People with Parkinson's Disease. *Neurotherapeutics: The Journal of the American Society for Experimental NeuroTherapeutics*, 17(4), 1418-1433. <https://doi.org/10.1007/s13311-020-00904-8>

Sehm, B., Taubert, M., Conde, V., Weise, D., Classen, J., Dukart, J., Draganski, B., Villringer, A., & Ragert, P. (2014). Structural brain plasticity in Parkinson's disease induced by balance training. *Neurobiology of Aging*, 35(1), 232-239. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2013.06.021>

Society of Automotive Engineers International (SAE). (2016). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles* (N° 2016-09-30; Warrendale, PA : SAE). SAE International. https://doi.org/10.4271/J3016_201609

Spreng, R. N., Wojtowicz, M., & Grady, C. L. (2010). Reliable differences in brain activity between young and old adults : A quantitative meta-analysis across multiple cognitive domains. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34(8), 1178-1194. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2010.01.009>

Stuart, S., Alcock, L., Rochester, L., Vitorio, R., & Pantall, A. (2019). Monitoring multiple cortical regions during walking in young and older adults : Dual-task response and comparison challenges. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 135, 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.11.006>

Stuart, S., Belluscio, V., Quinn, J. F., & Mancini, M. (2019). Pre-frontal Cortical Activity During Walking and Turning Is Reliable and Differentiates Across Young, Older Adults and People With Parkinson's Disease. *Frontiers in Neurology*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00536>

Stuart, S., Vitorio, R., Morris, R., Martini, D. N., Fino, P. C., & Mancini, M. (2018). Cortical activity during walking and balance tasks in older adults and in people with Parkinson's disease: A structured review. *Maturitas*, *113*, 53-72. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.04.011>

Sturm, W., & Willmes, K. (2001). On the functional neuroanatomy of intrinsic and phasic alertness. *NeuroImage*, *14*(1 Pt 2), S76-84. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0839>

Takeuchi, N., Mori, T., Suzukamo, Y., Tanaka, N., & Izumi, S.-I. (2016). Parallel processing of cognitive and physical demands in left and right prefrontal cortices during smartphone use while walking. *BMC Neuroscience*, *17*(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s12868-016-0244-0>

Talamonti, D., Gagnon, C., Vincent, T., Nigam, A., Lesage, F., Bherer, L., & Fraser, S. (2022). Exploring cognitive and brain oxygenation changes over a 1-year period in physically active individuals with mild cognitive impairment: A longitudinal fNIRS pilot study. *BMC Geriatrics*, *22*(1), 648. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03306-x>

Taylor, J., Chadwick, D., & Johnson, T. (1996). Risk of accidents in drivers with epilepsy. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *60*(6), 621-627. <https://doi.org/10.1136/jnnp.60.6.621>

Tournier, I., Dommès, A., & Cavallo, V. (2016). Review of safety and mobility issues among older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, *91*(Supplement C), 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.02.031>

Trojak, B. (2012). *14. Plasticité cérébrale et potentialités*. Dunod. <https://www.cairn.info/l-aide-memoire-de-psychologie-medicale--9782100570157-page-85.htm>

Uc, E. Y., Rizzo, M., Anderson, S. W., Dastrup, E., Sparks, J. D., & Dawson, J. D. (2009). Driving under low-contrast visibility conditions in Parkinson disease. *Neurology*, *73*(14), 1103-1110. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181bacf6e>

- Uc, E. Y., Rizzo, M., Anderson, S. W., Sparks, J. D., Rodnitzky, R. L., & Dawson, J. D. (2006a). Driving with distraction in Parkinson disease. *Neurology*, *67*(10), 1774-1780. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000245086.32787.61>
- Uc, E. Y., Rizzo, M., Anderson, S. W., Sparks, J. D., Rodnitzky, R. L., & Dawson, J. D. (2007). Impaired navigation in drivers with Parkinson's disease. *Brain*, *130*(9), 2433-2440. <https://doi.org/10.1093/brain/awm178>
- Uc, E. Y., Rizzo, M., Anderson, S. W., Sparks, J., Rodnitzky, R. L., & Dawson, J. D. (2006b). Impaired visual search in drivers with Parkinson's disease. *Annals of Neurology*, *60*(4), 407-413. <https://doi.org/10.1002/ana.20958>
- Uc, E. Y., Rizzo, M., Johnson, A. M., Emerson, J. L., Liu, D., Mills, E. D., Anderson, S. W., & Dawson, J. D. (2011). Real-life driving outcomes in Parkinson disease. *Neurology*, *76*(22), 1894-1902. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31821d74fa>
- Uc, E. Y., Rizzo, M., O'Shea, A. M. J., Anderson, S. W., & Dawson, J. D. (2017). Longitudinal decline of driving safety in Parkinson disease. *Neurology*, *89*(19), 1951-1958. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004629>
- Vallée, P., Tisserand, R., & Robert, T. (2015). Possible recovery or unavoidable fall ? A model to predict the one step balance recovery threshold and its stepping characteristics. *Journal of Biomechanics*, *48*(14), 3905-3911. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.09.024>
- van der Kolk, N. M., de Vries, N. M., Kessels, R. P. C., Joosten, H., Zwinderman, A. H., Post, B., & Bloem, B. R. (2019). Effectiveness of home-based and remotely supervised aerobic exercise in Parkinson's disease : A double-blind, randomised controlled trial. *The Lancet. Neurology*, *18*(11), 998-1008. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(19\)30285-6](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(19)30285-6)
- Vernon, D. D., Diller, E. M., Cook, L. J., Reading, J. C., Suruda, A. J., & Dean, J. M. (2002). Evaluating the crash and citation rates of Utah drivers licensed with medical conditions, 1992-1996. *Accident; Analysis and Prevention*, *34*(2), 237-246.
- Wagshul, M. E., Lucas, M., Ye, K., Izzetoglu, M., & Holtzer, R. (2019). Multi-modal neuroimaging of dual-task walking : Structural MRI and fNIRS analysis reveals prefrontal grey matter volume moderation of brain activation in older adults. *NeuroImage*, *189*, 745-754. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.045>

- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, *120*(2), 272-292. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.120.2.272>
- Witt, J.-A., & Helmstaedter, C. (2015). Cognition in the early stages of adult epilepsy. *Seizure*, *26*, 65-68. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2015.01.018>
- World Health Organization. (2020). *Ageing and health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- Wu, Y., Kihara, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M., & Kitazaki, S. (2019). Effects of scheduled manual driving on drowsiness and response to take over request : A simulator study towards understanding drivers in automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, *124*, pp 202-209.
- Zesiewicz, T. A., Cimino, C. R., Malek, A. R., Gardner, N., Leaverton, P. L., Dunne, P. B., & Hauser, R. A. (2002). Driving safety in Parkinson's disease. *Neurology*, *59*(11), 1787-1788.

Curriculum vitae détaillé

Maud RANCHET

Date de naissance : 12 Octobre 1984

ResearcherID: AAF-2672-2019

Chargée de recherche (CRCN)

Scopus Author ID: 36810333400

Disciplines : neuropsychologie, neurosciences

Loop profile: 434378

Université Gustave Eiffel, Laboratoire
Ergonomie et Sciences Cognitives pour les
Transports (LESCOT)

Téléphone : 04 72 14 25 99

ORCID : 0000-0002-5325-064X

Email : maud.ranchet@univ-eiffel.fr

FORMATION

2011 : Doctorat en neuropsychologie, *mention très honorable avec félicitations du jury* préparée au sein de l'école doctorale Neurosciences et Cognition, Université Lyon 2. Titre de la thèse : Effet de la maladie de Parkinson sur la conduite automobile : implication des fonctions exécutives

Jury présidé par Patrick Lemaire, Professeur des Universités et composé de Emmanuel Broussolle, Professeur des Universités – Praticien Hospitalier, Colette Fabrigoule, Directrice de recherche, Laurence Paire-Ficout, Chercheur, Stéphane Thobois, Maître de conférence – Praticien Hospitalier, Ergun Uc, Professeur adjoint

2008 : Master Sciences Humaines et Sociales, à finalité recherche, mention Psychologie, spécialité Psychologie Cognitive et Neuropsychologie, Université Lyon 2, Bron, France

2006 : Licence en biologie, spécialité en physiologie, Université Lyon 1, Bron, France

EXPERIENCES PROFESSIONNELLES

Janvier 2018 – Maintenant : Chargée de Recherche en neuropsychologie, TS2-LESCOT

Septembre 2016 – Décembre 2017 : Ingénieure de Recherche en neuropsychologie, TS2-LESCOT, laboratoire dirigé par Hélène Tattegrain ; *Thème de recherche* : Effet du vieillissement sur la mobilité

Septembre 2014 - Août 2016 : Chercheure post-doctoral, Simulator Lab, Augusta University, US ; *Thèmes de recherche* : Influence des déficits cognitifs dans la conduite automobile, évaluation de l'aptitude à la conduite chez les conducteurs présentant des affections médicales

Décembre 2012 - Août 2014 : Ingénieure de recherche, COSYS-LEPSIS, Marne la Vallée ; *Thème de recherche* : Perception et détection des usagers vulnérables

Janvier - Juin 2012 : Mi-temps chargée de recherche contractuelle, Fondation partenariale Lyon 1, Lyon ; *Thème de recherche* : Influence de la maladie de Parkinson sur la conduite automobile

Janvier - Juin 2012 : Enseignante vacataire en statistiques et psychologie cognitive (168h) aux étudiants de 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} année de Licence Psychologie, Université Lyon 2, Lyon

Septembre 2009 – Mai 2011: Enseignante vacataire, Université Lyon 2, Bron, France
Enseignement de statistiques aux étudiants de 1^{ère} année et 3^{ème} année de Licence Psychologie (42h)
et de sciences cognitives aux étudiants de 2^{ème} année de Licence Sciences Cognitives (21h)

Septembre 2011 - Juin 2012 : Auto-entrepreneuse Activités spécialisées, scientifiques et techniques
diverses, Animation d'ateliers sur l'ensemble des processus impliqués dans la conduite automobile à
destination des séniors, n° SIREN 537 717 175

Juillet - Août 2008 : Ingénieure d'étude au LESCOT, IFSTTAR, Bron ; *Thème de recherche :* Influence de
la maladie de Parkinson sur la conduite automobile

Septembre 2007 - Juin 2008 : Stage de Master 2 au LESCOT ; *Thème de recherche :* effet des fonctions
exécutives sur la conduite automobile

ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT ET DE FORMATION

ENSEIGNEMENTS

Janvier 2023 : Cours sur Maladie de Parkinson et mobilité aux étudiants de la filière ingénieur de
Cognitique à l'Ecole Nationale Supérieure de Cognitique, Bordeaux INP (5h)

Novembre 2021 : Cours sur Maladie de Parkinson et mobilité aux étudiants de la filière ingénieur de
Cognitique à l'Ecole Nationale Supérieure de Cognitique, Bordeaux INP (7h)

Octobre 2021 : Cours sur les apports de l'oculométrie dans l'étude de la cognition pour le module
Techniques Innovantes en sciences cognitives aux étudiants de Master Sciences Cognitives, Université
Lyon 2, Lyon (4h30)

Novembre 2020 : Cours sur Maladie de Parkinson et mobilité aux étudiants de la filière ingénieur de
Cognitique à l'Ecole Nationale Supérieure de Cognitique, Bordeaux INP (8h)

Octobre 2020 : Cours sur les apports de l'oculométrie dans l'étude de la cognition pour le module
Techniques Innovantes en sciences cognitives aux étudiants de Master Sciences Cognitives, Université
Lyon 2, Lyon (4h)

Novembre 2019 : Cours sur Maladie de Parkinson et mobilité aux étudiants de la filière ingénieur de
Cognitique à l'Ecole Nationale Supérieure de Cognitique, Bordeaux INP (6h)

Octobre 2019 : Cours sur les apports de l'oculométrie dans l'étude de la cognition pour le module
Techniques Innovantes en sciences cognitives aux étudiants de Master Sciences Cognitives, Université
Lyon 2, Lyon (3h)

Octobre 2017 : Cours sur Maladie de Parkinson et Conduite automobile aux étudiants de la filière
ingénieur de Cognitique à l'Ecole Nationale Supérieure de Cognitique, Bordeaux INP (4h)

Septembre 2017 : Cours sur les apports de l'oculométrie dans l'étude de la cognition pour le module
Techniques Innovantes en sciences cognitives (3h) aux étudiants de Master Sciences Cognitives,
Université Lyon 2, Lyon (3h)

2011-2012 : TD de Statistiques aux étudiants de 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} année de Licence de Psychologie,
Université Lyon 2 (168 h)

2010-2011 : TD de Statistiques aux étudiants en 3^{ème} année de Licence de Psychologie, Université Lyon 2 (21h)

2010-2011 : TD de Statistiques aux étudiants en 1^{ère} année de Licence de Psychologie, Université Lyon 2 (21h)

2010-2011 : TD de Sciences Cognitives et leurs applications aux étudiants en 2^{ème} année de Licence Sciences Cognitives, Université Lyon 2 (10h30)

2009-2010 : TD de Sciences Cognitives et leurs applications aux étudiants en 2^{ème} année de Licence Sciences Cognitives, Université Lyon 2 (10h30)

ENCADREMENTS

Thèses

Nov 2021 – maintenant : Clara Gasne, thèse en Neuropsychologie, thèse financée par l'Université Gustave Eiffel. Taux encadrement : 50% - Directrice de thèse : Laurence Paire-Ficout. Titre : Reprise de la conduite des personnes ayant subi un accident vasculaire cérébral.

2018 – 2021 : Isabelle Hoang, thèse en Neuropsychologie, thèse financée par l'Université Gustave Eiffel. Taux encadrement : 50% - Directrice de thèse : Laurence Paire-Ficout. Titre : Effets du vieillissement sur la marche : approche multifactorielle.

Master

2022 – 2023 : Fanny Baleste, Master 2 Neuropsychologie et Neurosciences cognitives, Université catholique de Lille. Taux encadrement : 100%. Titre : La marche dans la maladie de Parkinson : les mécanismes de compensations des aires cérébrales impliquées dans les troubles de la marche chez les patients présentant la maladie de Parkinson.

2022 – 2023 : Marie Fourel, Master 2 Santé, Université Lyon 1. Taux encadrement : 25% - co-encadrement avec Laurence Paire-Ficout, Floriane Delphin-Combe et Marion Giroux. Titre : Evaluation d'un programme d'ACCOMPagnement des patients dans la préservation des risques liés à l'impact des troubles cognitifs sur la conduite automobile en Gériatrie et Neurologie.

2022 – 2023 : Gaëlle Dumas, Master 2 Santé, Université Lyon 1. Taux encadrement : 50% - co-encadrement avec Laurence Paire-Ficout. Titre : Epilepsie et conduite.

2021 – 2022 : Fanny Baleste, Master 1 Neuropsychologie et Neurosciences cognitives, Université catholique de Lille. Taux encadrement : 100%.

Titre : La marche dans la maladie de Parkinson : les mécanismes de compensations des aires cérébrales impliquées dans les troubles de la marche chez les patients présentant la maladie de Parkinson.

2021 – 2022 : Marie Fourel, Master 1 Santé, Université Lyon 1. Taux encadrement : 25% - co-encadrement avec Laurence Paire-Ficout, Floriane Delphin-Combe et Marion Giroux. Titre : Evaluation d'un programme d'ACCOMPagnement des patients dans la préservation des risques liés à l'impact des troubles cognitifs sur la conduite automobile en Gériatrie et Neurologie.

Sept 2021 – Janv 2022 : Wafae Ettaki, Ingénieure en Génie Industriel à l'INSA Hauts-de-France. Taux encadrement (25%) avec Véronique Delcroix (Lamih), Romain Derollepot, Laurence Paire-Ficout. Titre : Analyse de données du projet PARACHUTE à l'aide de réseaux Bayésiens. **2019 - 2020** : Clara Gasne,

Master 2 Neuropsychologie, Université Lyon 2 – Taux encadrement : 60% - Co-encadrement avec Laurence Paire-Ficout. Titre : Les effets du vieillissement sur les performances de reprise en main d'un véhicule automatisé.

2018 - 2019 : Guillaume Gatineau, Master 1 Mathématiques appliquées, Université Lyon 1 - Taux encadrement : 40% - Co-encadrement avec Romain Derollepot. Titre : Analyse de données neurophysiologiques.

2018 - 2019 : Maxime Cheminon, Master 2 Ingénierie de la Santé, parcours Ingénierie de la Neuromotricité « i-Nm », Université Jean Monnet - Saint-Etienne – Taux encadrement : 50% - Co-encadrement avec Laurence Paire-Ficout en collaboration avec l'Hôpital Henry Gabrielle. Titre : Effet d'un programme de rééducation intensive chez des patients parkinsoniens : activité corticale préfrontale et paramètres de marche.

2018-2019 : Mélissa Llorens, Master 2 Psychologie / Neuropsychologie – Taux encadrement : 50% - Co-encadrement avec Laurence Paire-Ficout en collaboration avec l'Hôpital des Charpennes. Titre : Etude pilote sur l'efficacité du programme d'ACcompagnement des patients avec troubles COgnitifs dans le Maintien ou le Processus d'Arrêt de la conduite automobile en Gériatrie et Neurologie (ACCOMPAGNE).

2017 - 2018 : Manon Tchoulfayan, Master 2 Psychologie / Neuropsychologie – Taux encadrement : 50% - Co-encadrement avec Laurence Paire-Ficout en collaboration avec l'Hôpital des Charpennes (Florianne Delphin-Combe et Marie-Hélène Coste), Titre : Étude pilote sur l'efficacité du programme d'ACcompagnement des patients avec trouble COgnitif dans le Maintien ou le Processus d'Arrêt de la conduite automobile en Gériatrie et NEurologie (ACCOMPAGNE) : résultats préliminaires.

2017 - 2018 : Isabelle Hoang, Master 2 Neuropsychologie et Neurosciences Cliniques – Taux encadrement : 50% - Co-encadrement avec Laurence Paire-Ficout. Titre : Effet du vieillissement sur la marche : approche multifactorielle.

2011 : Audrey Sagnard - Master 2 Neurobiologie des Comportements et étudiante en 2^{ème} année de Médecine – Taux encadrement : 100%. Titre : Influence de la maladie de Parkinson sur le comportement en conduite : étude en situation réelle.

Ecole d'orthophonie

2022 12 Juin – 8 Juillet : Marig Primas et Maelle – 3^{ème} année école orthophonie - Stage de sensibilisation à la recherche – Taux encadrement : 50 % Co-encadrement avec Marion Giroux

Ecoles d'ingénieurs

2010 : Qing Huang – 2^{ème} année de l'INSA – Taux encadrement : 50% - Co-encadrement avec Arnaud Bonnard ; Titre : Développement d'algorithmes d'analyse en langage Matlab.

2010 : Estelle Lachize et Loic Cobos – Première année de l'Ecole Nationale Supérieure de Cognitique de Bordeaux – Taux encadrement : 30% - Co encadrement avec Thierry Bellet et Benoit Mathern. Titre : Analyse de l'activité de conduite : étude d'un carrefour.

PARTICIPATION A DES JURY ET A DES INSTANCES OU COMITES EN LIEN AVEC L'ENSEIGNEMENT ET/OU LA RECHERCHE

Mai 2023 : Relecture du travail préparatoire au mémoire d'orthophonie. Titre : Entraînement moteur avec outil et traitement syntaxique chez le trouble développement du langage.

Juin 2022 : Participation au jury de Camille Malvache, mémoire d'orthophonie présenté pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste. Titre : Trouble spécifique des apprentissages avec déficit en lecture et habiletés de conduite automobile.

AUTRES CONTRIBUTIONS A LA VIE DE L'ETABLISSEMENT ET/OU A LA COMMUNAUTE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

- Correspondante valorisation – Pulsalys (**2017 – maintenant**)
- Participation à des projets fédérateurs de TS2 : « Mobilité et transition numérique » et « Ville 2050 »
- Activités au sein de l'APIO (Association du personnel) : Coordination de l'activité bricolage (**2017-2022**) – Coordination de l'activité ski et membre du conseil d'administration (**2022 – maintenant**).
- Participation au reportage Séniors et conduite : demande de la DSR (**tournage en Juin 2021**)
- Responsable de la demande d'investissement : Imagerie spectroscopique proche infrarouge, Montant HT : 78 000 euros (**2022**)
- Animation d'un groupe de travail sur le thème : « Chute et Mobilité » au sein du département TS2-Ifsttar (**2017-2020**) (Transport, Santé, Sécurité)
- Responsable de la demande d'investissement : Imagerie spectroscopique proche infrarouge, Montant HT : 125 729.32 euros (**2016**)
- Organisation de la visite du laboratoire Lescot à l'occasion de la semaine du cerveau (**Mercredi 16 Mars 2022/ Mercredi 15 Mars 2023**)

ACTIVITES D'EXPERTISE, DE VALORISATION ET DE TRANSFERT

CONTRATS DE RECHERCHE

2022-2025 : Projet EPICO financé par la Délégation Sécurité Routière ; Budget : 260 894.22 € ; Titre : Epilepsie et conduite ; Personnes impliquées : Laurence Paire-Ficout, Cécile Sabourdy ; Rôle : référente DSR et responsable

2022-2024 : Projet « Effets de la rééducation intensive sur la neuroplasticité chez des patients atteints de la maladie de Parkinson – approche combinée (neurophysiologie, neuropsychologie et imagerie) » financé par la fondation Neurodis ; Budget : 50 000 € ; Porteurs de projet : Teodor Danaila, Maxime Cheminon ; Rôle : co-porteur

2022-2023 : Projet FoamEx – Dispositif intégré d'évaluation du niveau de protection de matériaux souples financé par le département Transport, Santé Sécurité (Bonus Qualité Recherche de projets collaboratifs) ; Budget : 10 000 € ; Personnes impliquées : Maxime Llari (responsable), Michel Behr, Céline Parot, Cécile Coquelet ; Rôle : impliquée dans le développement de questionnaires à destination des professionnels de santé et des personnes âgées

2021- 2024 : Projet RETROUVE financé par la Délégation Sécurité Routière ; Budget : 141 964 € ; Titre : Reprise de la conduite et conscience des troubles chez des patients AVC ; Personnes impliquées :

Pauline Coignard, J.L Le Guiet, J. Luauté,, M. Evennou, C. Gasne, I. Hoang, L. Paire-Ficout (référente et co-responsable) ; Rôle : responsable

2019-2022 : Projet ACCOMPAGNE-PHRIP financé par la Délégation Sécurité Routière ; Budget : 227 754€ ; Titre : Evaluation d'un programme d'éducation thérapeutique sur la prévention des risques liés à l'impact des déficits cognitifs sur la conduite en Gériatrie et Neurologie ; Personnes impliquées : Florianne Delphin-Combe, Marie-Hélène Coste, Laurence Paire-Ficout, Mélissa Llorens ; Rôle : responsable de la partie « conduite »

2019-2022 : Projet ACCOMPAGNE-DSR financé par la Délégation Sécurité Routière (DSR) ; Budget : 112 500 euros ; Titre : Aménagement de la conduite automobile chez des patients présentant des troubles neurocognitifs : programme adapté d'éducation thérapeutique en gériatrie et neurologie ; Personnes impliquées : Laurence Paire-Ficout (co-responsable), Mélissa Llorens, Floriane Delphin-Combe, Marie-Hélène Coste ; Rôle : responsable et personne référente DSR

2019-2021 : Projet PARACHUTE financé par AAP Exploratoire ; Budget: 19900 euros ; Titre : Effet du vieillissement sur la marche : une approche multidisciplinaire ; Personnes impliquées : Laurence Paire-Ficout (co-responsable), Romain Derollepot, Isabelle Hoang Partenaire: Hannes Devos, Stéphane Perrey ; Rôle : responsable

2018-2022 : Projet SURCA workpackage (WP) 8.2 financé par la Fondation Sécurité Routière Dévolution SURCA ; Budget : 40 000 euros ; Titre : Conducteurs âgés et reprise en main ; Personnes impliquées : Stéphanie Bordel (CEREMA), Laurence Paire-Ficout, Clara Gasne ; Rôle : responsable du WP 8.2

2017 – 2018 : Participation à l'évaluation du banc Becape 2017 – 2018 ; Budget : 14000 euros ; Financement : Région Ile de France ; Porteur : CEREMH ; Personnes impliquées : Aline Alauzet, Laurence Paire-Ficout ; Rôle : Participation à l'évaluation du simulateur

2016- 2017 Pupillary Response to Cognitive Workload in Parkinson's Disease 01/09/2016 - 31/08/2017; Budget: \$50 000; Financement : American Parkinson Disease Association – Porteur: Hannes Devos Rôle: Co-Investigateur

2014-2016. Performance-based visual field testing to detect Driving Impairments in individuals with Glaucoma; Budget: \$20 000; Financement: Fight for Sight Foundation; Porteur: Hannes Devos; Rôle: Participation à la conception du protocole, passation des expérimentations, analyses et valorisation des résultats

2014-2016. Population-based Assessment of Fitness-to-Drive in Individuals with Medical Conditions; Budget: \$37 303; Financement: Belgian Road Safety Institute; Porteur: Hannes Devos; Rôle: Analyses statistiques et valorisation des résultats

2012-2014 : Projet AVIMOTO financé par la fondation MAIF ; Budget : 200 000 euros ; Titre : Améliorer la visibilité des motocyclistes (AVIMOTO) ; Financement : fondation MAIF –Personnes impliquées : Viola Cavallo (responsable), Stéphane Espié, Maria Pinto, Nguyen-Thong Dang, Fabrice Vienne ; Rôle : en charge des expérimentations et de la valorisation des résultats

INITIATIVE CIBLEE

2018- 2021 SPECTRAGE - Bénéfices et limites de la spectroscopie proche infrarouge fonctionnelle à l'étude des processus cognitifs et perceptifs lors d'une tâche de conduite simulée : étude chez des conducteurs adultes jeunes et âgés. Autres membres impliqués : Lescot : Romain Derollepot, Alexandra Fort, Christophe Jallais, Fabien Moreau, Maud Ranchet et Lepsis : Roland Brémond, Céline Villa, Daniel Ndiaye Rôle : responsable scientifique. Montant – 5000 €.

Action incitative - Partenariat structurant en développement

2018- 2021 Développement de la collaboration avec Hannes Devos, chercheur à « Kansas University Medical Center » Rôle : porteur Montant : 3000 euros

ACTIVITES D'EXPERTISE ET DE CONSEIL

2016 : Expertise pour l'institut VIAS – anciennement Institut Belge de Sécurité Routière

VULGARISATION DES RESULTATS DE LA RECHERCHE

2023 : Contribution à la rédaction d'un document au sujet de la maladie de Parkinson sur le site internet PRACDRIVA :

Devos, H., **Ranchet, M.**, & Tant, M. (2023). *Parkinson's Disease (PD) – Pracdriva*. <https://pracdriva.wp-dev.indigo.ws/medical-conditions/parkinsons-disease/>

10/10/2011 Conférence à Amiens (2h) – Thème : Plaisir, Sécurité et Sérénité au volant

Ateliers (2h) – Thème : Gestion du stress et adaptabilité

17/10-19/10/2011 Ateliers à Sèvres (2h) – Thème : Agir et réagir au volant

Conférence et ateliers à Vanves (4h) Thèmes : Plaisir, Sécurité et Sérénité au volant / Agir et réagir au volant

ACTIVITES INTERNATIONALES

Participation à des projets internationaux

Projet SUAaVE : SUpporting acceptance of automated Vehicle. Budget : 510 000 euros. Responsable scientifique : Thierry Bellet ; Partenaires – Marie Pierre Bruyas et Maud Ranchet ; Début: 2019 Fin: 2021 ;

Collaborations internationales suivies

Collaboration avec Hannes Devos, directeur du Laboratory for Advanced Rehabilitation Research in Simulation, University of Kansas Medical Center

RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE ET DIFFUSION DE L'INFORMATION ET DE LA CULTURE

SCIENTIFIQUE

PARTICIPATION A DES RESEAUX DE RECHERCHE

Membre de l'association ARPEGE, Association pour la Recherche en Psychologie Ergonomique et Ergonomie, inscrite dans le groupe Vieillessement et facteurs capacitants.

Membre de l'Institut Fédératif de Recherche pour le Handicap

Membre de la sfnirs

PARTICIPATION A DES COMITES EDITORIAUX ET EXPERTISE D'ARTICLES

2021- maintenant: Associate Editor for Frontiers in Neurology

2021-2022: Guest Editor for a research topic entitled: cognition and mobility in aging or neurological diseases: assessment and intervention strategies Frontiers in Neurology Frontiers in Neurorehabilitation

2021 : Membre du comité de relecture d'un livre publié courant 2022 issu du colloque sur la chute de la personne âgée co-organisés par PRIMOH et PREMOB

Expertise d'articles pour :

- Transportation Research Part F, 2021 (2 articles), 2020 (1 article)
- Journal of Applied Physiology, 2021 (1 article)
- Neurorehabilitation and Neural Repair, 2021 (1 article)
- Geroscience, 2021 (1 article)
- Neuroscience, 2020 (1 article)
- Advances in Psychology, 2020 (1 article)
- Frontiers in Psychology, 2020 (1 article)
- BMC Geriatrics, 2020 (1 article)
- Parkinsonism and Related Disorders 2019 (1 article)
- Movement Disorders, 2019 (1 article)
- Journal of Rehabilitation Medicine, 2018 (1 article)
- Canadian Journal of Occupational Therapy, 2018 (1 article)
- Transportation Research Part F: Psychology and Behavior, 2018, 2017, 2020, 2021 (4 articles), 2022 (2)
- Neuropsychological Rehabilitation, 2017 (1 article)
- Journal of Parkinson's disease, 2017 (1 article)
- Journal of the American Geriatrics Society, 2016 (1 article)
- Geriatrics, 2016 (1 article)

Expertise d'articles pour les conférences suivantes :

- Transportation Research Board, 2019 (1 article)
- Driving Distraction and Inattention, 2017 (2 articles)

ORGANISATION DE COLLOQUES, SEMINAIRES, ECOLES

14 Décembre 2021 : Organisation d'un séminaire autour du projet PARACHUTE

PUBLICATIONS

	Code	Nombre total
Article dans revue à comité de lecture répertoriée dans les BDI JCR, Scopus, ERIH, HCRES	ACL	38
Article dans revue à comité de lecture non répertoriée dans les BDI JCR, Scopus, ERIH, AEREL	ACLN	
Article dans revue sans comité de lecture	ASCL	
Direction d'ouvrage	DO	
Ouvrage scientifique ou chapitre	OS	1
Conférence invitée dans un congrès international ou national (INV)	INV	
Communication avec actes dans un congrès international	ACTI	24
Communication avec actes dans un congrès national	ACTN	4
Communication orale sans actes dans un congrès international ou national	COM	14
Communication par affiche dans un congrès international ou national	AFF	12
Rapport de recherche	RAPP	8
Rapport d'expertise	RAPP-EX	1
Ouvrage de vulgarisation ou chapitre	OV	

ACL – Articles en révision, soumis

- Ahmadnezhad, P., Burns, J. M., Akinwuntan, A. E., **Ranchet, M.**, Kondily, A., MahnKen, J. D., & Devos, H. (under review). Automated driving for older adults with cognitive impairment : A pilot study.
- Gasne, C., **Ranchet, M.**, Evennou, M., Delebecque, M.-C., Hoang, I., Coignard, P., Paire-Ficout, L. (submitted). Fitness-to-drive recommendations in individuals with stroke: a retrospective study

ACL – Articles dans revue à comité de lecture

- Ahmadnezhad, P., Burns, J. M., Akinwuntan, A. E., **Ranchet, M.**, Kondily, A., MahnKen, J., & Devos, H. (accepted). Driving automation for older adults with preclinical Alzheimer's disease. *Gerontology*.
- Hoang, I., **Ranchet, M.**, & Paire-Ficout, L. (2023). Prefrontal activity during walking in normal and pathological aging. *International Journal of Psychophysiology*, 188, 45. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.05.113>
- Ranchet, M.**, Hoang, I., Derollepot, R., & Paire-Ficout, L. (2023). Between-sessions test-retest reliability of prefrontal cortical activity during usual walking in patients with Parkinson's Disease : A fNIRS study. *Gait & Posture*, S0966636223001170. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.05.003>
- Greenfield, J., Delcroix, V., Ettaki, W., Derollepot, R., Paire-Ficout, L., & **Ranchet, M.** (2023). Left and Right Cortical Activity Arising from Preferred Walking Speed in Older Adults. *Sensors*, 23(8), 3986. <https://doi.org/10.3390/s23083986>
- Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L., Devos, H., eds. (2023). Cognition and mobility with aging or neurological conditions: Assessment and intervention strategies. Lausanne: Frontiers Media SA. doi: 10.3389/978-2-83251-082-7
- Gasne, C., Hoang, I., **Ranchet, M.**, Le Guiet, J.-L., Delebecque, M.-C., Evennou, M., Allain, C., Guillaume, E., Penvern, N., Paire-Ficout, L., & Coignard, P. (2022). Accident vasculaire cérébral et reprise de la conduite. *Actualités en Médecine Physique et de Réadaptation*.

7. **Ranchet, M.**, Brémond, R., Pala, P., Colomb, M., & Cavallo, V. (2022). The detection of vulnerable road users by younger and older drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *91*, 357-367. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.10.018>
8. Delphin-Combe, F., Coste, M.-H., Bachelet, R., Llorens, M., Gentil, C., Giroux, M., Paire-Ficout, L., **Ranchet, M.**, & Krolak-Salmon, P. (2022). An innovative therapeutic educational program to support older drivers with cognitive disorders : Description of a randomized controlled trial study protocol. *Frontiers in Neurology*, *13*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2022.901100>
9. Gasne, C., Paire-Ficout, L., Bordel, S., Lafont, S., & **Ranchet, M.** (2022). Take-over performance of Older Drivers in Automated Driving : A Review. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour*.
10. Hoang, I., Paire-Ficout, L., Derollepot, R., Perrey, S., Devos, H., & **Ranchet, M.** (2022). Increased prefrontal activity during usual walking in aging. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, *174*, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2022.01.011>
11. Hoang, I., **Ranchet, M.**, Cheminin, M., Derollepot, R., Devos, H., Perrey, S., Luauté, J., Danaila, T., Paire-Ficout, L. An intensive exercise-based training program reduces prefrontal activity during usual walking in patients with Parkinson's disease. *Clinical Parkinsonism & Related Disorders* (2022) *6*:100128. doi: 10.1016/j.prdoa.2021.100128
12. **Ranchet, M.**, Hoang, I., Cheminin, M., Derollepot, R., Devos, H., Perrey, S., Luauté, J., Danaila, T., & Paire-Ficout, L. (2020). Changes in prefrontal cortical activity during walking and cognitive functions among patients with Parkinson's disease. *Frontiers in Neurology*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.601686>
13. Hoang, I., **Ranchet, M.**, Derollepot, R., Moreau, F., & Paire-Ficout, L. (2020). Measuring the Cognitive Workload During Dual-Task Walking in Young Adults : A Combination of Neurophysiological and Subjective Measures. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.592532>
14. Lévêque L., **Ranchet M.**, Deniel J., Bornard J-C, Bellet T. (2020) Where Do Pedestrians Look When Crossing? A State of the Art of the Eye-Tracking Studies. *IEEE Access* 1–1. doi:10.1109/ACCESS.2020.3021208
15. **Ranchet, M.**, Morgan, J., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2020). Visual search and target detection during simulated driving in Parkinson's disease. *Accident Analysis and Prevention*,
16. **Ranchet, M.**, Devos, H., & Uc, E. Y. (2019). Driving in Parkinson Disease. *Clinics in Geriatric Medicine*, S0749069019300825. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2019.09.007>
17. Hidalgo-Muñoz, A. R., Jallais, C., Evennou, M., Ndiaye, D., Moreau, F., **Ranchet, M.**, Derollepot, R., Fort, A. (2019). Hemodynamic responses to visual cues during attentive listening in autonomous versus manual simulated driving: A pilot study. *Brain and Cognition*, *135*, 103583. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.103583>,
18. Kahya, M., Moon, S., **Ranchet, M.**, Vukas, R. R., Lyons, K. E., Pahwa, R., ... Devos, H. (2019). Brain activity during dual task gait and balance in aging and age-related neurodegenerative conditions : A systematic review. *Experimental Gerontology*, *128*, 110756. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2019.110756>
19. Devos, H., **Ranchet, M.**, Bollinger, K., Conn, A., & Akinwuntan, A. E. (2018). Performance-based visual field testing for drivers with glaucoma: A pilot study. *Traffic Injury Prevention*, *19*(7), 715–721. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1508834>

20. Moon, S., **Ranchet, M.**, Akinwuntan, A. E., Tant, M., Carr, D. B., Raji, M. A., & Devos, H. (2018). The Impact of Advanced Age on Driving Safety in Adults with Medical Conditions. *Gerontology*. <https://doi.org/10.1159/000486511>
21. **Ranchet, M.**, Morgan, J., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Cognitive workload across the spectrum of cognitive impairments: A systematic review of physiological measures. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*
22. Gangeddula, V., **Ranchet, M.**, Akinwuntan, A., Bollinger, K., & Devos, H. (2017). Effect of Cognitive Demand on Functional Visual Field Performance in Senior Drivers with Glaucoma. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00286>
23. Moon, S., **Ranchet, M.**, Tant, M., Akinwuntan, A., Devos, H. (2017) Comparison of unsafe driving across medical conditions: a cohort study *Mayo Clinic Proceedings*
24. **Ranchet, M.**, Orlosky, J., Morgan, J., Qadir, S., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Pupillary response to cognitive workload during saccadic tasks in Parkinson's disease. *Behavioural Brain Research*, 327, 162–166. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.03.043>
25. Schmidt, J. D., Hoffman, N. L., **Ranchet, M.**, Miller, L. S., Tomporowski, P. D., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Driving after Concussion: Is It Safe To Drive after Symptoms Resolve? *Journal of Neurotrauma*
26. Devos, H., **Ranchet, M.**, Backus, D., Abisamra, M., Anschutz, J., Allison, C. D., Mathur, S., Akinwuntan, A. E. (2016). Determinants of On-Road Driving in Multiple Sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*
27. **Ranchet, M.**, Broussolle, E., & Paire-Ficout, L. (2016). Longitudinal Executive Changes in Drivers with Parkinson's Disease: Study Using Neuropsychological and Driving Simulator Tasks. *European Neurology*, 76(3–4), 143–150
28. **Ranchet, M.**, Akinwuntan, A. E., Tant, M., Salch, A., Neal, E., & Devos, H. (2016). Fitness-to-drive agreements after stroke: medical versus practical recommendations. *European Journal of Neurology*, 23(9), 1408–1414
29. **Ranchet, M.**, Tant, M., Akinwuntan, A. E., Morgan, J. C., & Devos, H. (2016). Fitness-to-drive Disagreements in Individuals With Dementia. *The Gerontologist*. <https://doi.org/10.1093/geront/gnw119>
30. **Ranchet, M.**, Cavallo, V., Dang, N.-T., & Vienne, F. (2016). Improving motorcycle conspicuity through innovative headlight configurations. *Accident; Analysis and Prevention*, 94, 119–126
31. **Ranchet, M.**, Tant, M., Akinwuntan, A. E., Neal, E., & Devos, H. (2016). Comorbidity in Drivers with Parkinson' Disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, 64(2), 342-346
32. **Ranchet, M.**, Akinwuntan, A.E., Tant, M., Neal, E., Devos, H. (2015). Agreement between physician's recommendation and fitness-to-drive decision in multiple sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 96 (10), 1840-1844.
33. Devos, H., **Ranchet, M.**, Akinwuntan, A. E., & Uc, E. Y. (2015). Establishing an evidence-base framework for driving rehabilitation in Parkinson's Disease: A systematic review of on-road driving studies. *NeuroRehabilitation*, 37(1), 35–52
34. Cavallo, V., **Ranchet, M.**, Pinto, M., Espie, S., Vienne, F., & Dang, N.-T. (2015). Improving Car Drivers' Perception of Motorcycle Motion through Innovative Headlight Configurations. *Accident Analysis and Prevention*, 81, 187–193

35. **Ranchet M.**, Cavallo, V., Colomb, M., Pinto, M., Toinette, M. Thierry, M. (2014, July 8-13) Effect of driver age on the detection of vulnerable road users. Proceedings of the 28th International Congress of Applied Psychology, Paris, France.
36. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L., Uc, E. Y., Bonnard, A., Sornette, D., & Broussolle, E. (2013). Impact of specific executive functions on driving performance in people with Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 1(10), 25660.
37. **Ranchet, M.**, Broussolle, E., Poisson, A., Paire-Ficout, L. (2012). Relationships between Cognitive Functions and Driving Behaviour in Parkinson's Disease. *European Neurology*, 68, 98-107.
38. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L., Marin-Lamellet, C., Laurent, B., & Broussolle, E. (2011). Impaired updating ability in drivers with Parkinson's disease. *Journal Neurology Neurosurgery Psychiatry*, 82, 218-223.

OS – Ouvrage scientifique ou chapitre

1. Paire-Ficout, L., Lafont, S., **Ranchet, M.**, Gabaude, C., 2018, Un siècle d'utilisation de l'automobile : regards sur les conducteurs âgés. In : La sécurité routière en France: quand la recherche fait son bilan et trace des perspectives, 2 p.

ACTI - Communications orales dans un congrès international avec actes

1. Hoang, I., **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L. (2023, June 26-29). Prefrontal activity during walking in normal and pathological aging. Accepted abstract for the 21st World Congress of Psychophysiology, Geneva, Switzerland.
2. Lévêque L, Bellet T, Bornard J-C, Deniel, J., **Ranchet, M.**, De Baere, E., Richard, B. (2020, Nov, 5-6) Development of an Immersive Simulation Platform to Study Interactions Between Automated Vehicles and Pedestrians. Accepted abstract for 4th International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications.
3. Cheminon, M., Hoang, I., Paire-Ficout, L., **Ranchet, M.**, Danaila, T., Luauté, J. (2019). SIROCCO : un programme intensif de rééducation pour favoriser la mobilité de patients parkinsoniens. Les 32èmes Entretiens Jacques Cartier, 5 novembre 2019, Québec, Canada.
4. Hoang, I., **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L. Impact d'une double tâche sur la performance de marche dans le vieillissement : résultats préliminaires. RFTM 2019, Montréal, Canada.
5. Devos, H., **Ranchet, M.**, Morgan, J. C., & Akinwuntan, A. E. (June 24-27, 2019). Using a driving simulator to create a visual search test for drivers with Parkinson's disease. *Proceedings of the Ninth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. Santa Fe, New Mexico, US.
6. Hoang, I., **Ranchet, M.**, & Paire-Ficout, L. (2018). Cognitive load during a walking task: A pilot study. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61, e445. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.1036>
7. **Ranchet, M.**, Morgan, J. C., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2018). Cognitive determinants of visual search in patients with Parkinson's disease. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61, e253. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.587>
8. Biasseti, G., Botero, C., Devos, H., **Ranchet, M.** (2017). Visual scanning and pupil dilation in second language acquisition and translation tasks. *Language, Linguistics, and Technology: New Trends in Language Teaching, Interpreting, and Translation*. Forli, Italy, November 10 2017.

9. Orlosky, J., Itoh, Y., **Ranchet, M.**, Kiyokawa, K., Morgan, J., & Devos, H. (2017). Emulation of Physician Tasks in Eye-tracked Virtual Reality for Remote Diagnosis of Neurodegenerative Disease. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2657018>.
10. **Ranchet, M.**, Morgan, J., Akinwuntan, A.E., Devos, H. (Oct, 30- Nov, 4 2016) Visual search of road signs in Parkinson's disease: a pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, American Congress of Rehabilitation Medicine, Chicago, Etats-Unis, [2016-10-30, 97, 10](#), pp. e7-e8.
11. **Ranchet, M.**, Tant, M., Akinwuntan, A. E., Morgan, J. & Devos, H. (Oct, 30- Nov, 4 2016) Fitness-to-drive disagreements in patients with dementia. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, American Congress of Rehabilitation Medicine, Chicago, Etats-Unis, [2016-10-30, 97, 10](#), Elsevier, p. e8.
12. **Ranchet, M.**, Akinwuntan, A.E., Tant, M., Devos, H. (Oct, 30- Nov, 4 2016) Fitness-to-drive agreements after stroke. *Accepted Abstract for ACRM 93RD Annual Conference, Progress in Rehabilitation Research, Chicago, US*.
13. Devos, H., **Ranchet, M.**, Backus, D, Akinwuntan, A. E. (Oct, 30- Nov, 4 2016) Establishing a Framework for Driving Rehabilitation in Multiple Sclerosis. *Accepted Abstract for ACRM 93RD Annual Conference, Progress in Rehabilitation Research, Chicago, US*.
14. Schmidt JD, Devos H, Hoffman NL, **Ranchet M**, Akinwuntan AE, Miller LS. (October 27-28, 2016) Driving After Concussion: Is it Safe to Drive After Symptoms Resolve? **Accepted** Abstract for the Concussion in Sport 5th International Consensus Conference. Berlin, Germany.
15. **Ranchet, M.**, Tant, M., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (18-20 June 2015). Comorbidities in drivers with Parkinson disease. Paper presented at *the Proceedings of the Eight International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. Salt Lake City, UT
16. Devos, H., **Ranchet, M.**, Tant, M., & Akinwuntan, A. E. (2015). Agreement between physician rating and on-road decision for drivers with multiple sclerosis. Paper presented at *the Proceedings of the Eight International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. Salt Lake City, UT
17. Cavallo, V., **Ranchet, M.**, Espié, S., Vienne, F., Dang, N-T (2015) Innovative motorcycle headlight design as a short-term solution for improving motorcycle visibility, ISAL 2015 - International Symposium on Automotive Lighting, Darmstadt, Allemagne, 2015-09-28, Technische Universität Darmstadt, 10p.
18. Cavallo, V., **Ranchet, M.**, Espié, S., Vienne, F., Dang, N.-T., (2014), Improving motorcyclist perceptibility, International Motorcycle Conference, Brussels, Belgique, 2014-03-04, 1.
19. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L, Etienne, V., Marin-Lamellet, C., Broussolle, E. (2014, July 8-13) Investigating executive functions on driving simulator. *Proceedings of the 28th International Congress of Applied Psychology*, Paris, France.
20. Espie, S., Cavallo, V., **Ranchet, M.**, Pinto, M., Vienne, F., Dang, NT. (2014) Improving car drivers' perception of motorcycles: innovative headlight design as a short-term solution to mitigate accidents, IFZ2014 - 9th International Motorcycle Conference, Cologne, Allemagne, 2014-09-29, 11p

21. Cavallo, V., **Ranchet M.**, Pinto, M., Espié, S., Vienne, F. & Dang, N.T. (Sept, 24-25, 2013). Improving car drivers' perception of motorcyclists through innovative headlight configurations. Paper presented at *the Tenth International Symposium on Automotive Lighting (ISAL)*, Germany.
22. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L., & Broussolle, E. (2011, June, 27-30). Longitudinal two-year follow-up of updating and flexibility functions in drivers with Parkinson's disease: preliminary results. Paper presented at *the Proceedings of the Sixth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*.
23. **Ranchet, M.**, Broussolle, E., Marin-Lamellet, C., Laurent, B., & Paire-Ficout, L. (2010, December 9-12). Impaired updating ability in drivers with mild to moderate Parkinson's disease. Paper presented at *the 7th International Congress on Mental Dysfunctions & Other Non-Motor features in Parkinson's Disease*, Barcelone, Spain.
24. **Ranchet, M.**, Marin-Lamellet, C., Paire-Ficout, L., & Broussolle, E. (2009). Executive functions and information processing speed in Parkinson's disease: a driving simulator approach. Paper presented at *the International Traffic Medicine Association 21th World Congress*, The Hague, The Netherlands.

COM - Communications orales dans un congrès international sans actes

1. Devos, H., Moon, S., **Ranchet, M.**, Tant, M., Akinwuntan, A (2018, Feb, 7-10) Are Drivers with Neurological Conditions at Increased Risk of Unsafe Driving. Accepted abstract for WCNR 10th Conference, Mumbai, India.
2. Ranchet, M. Devos H., Tant, M., Thobois S, Broussolle E., Akinwuntan A., **Paire-Ficout L.** (2017). Maladie de Parkinson et conduite automobile : une approche pluridisciplinaire, Conférence Entretiens Jacques Cartier, 16-17 octobre 2017, Québec
3. Broussolle, E., Paire-Ficout, L., **Ranchet, M.** Are PD patients fit to drive? (October 9, 2016) Accepted Abstract for 11th International Congress on Non-Motor Dysfunctions in *Parkinson's Disease and Related Disorders*, Ljubljana, Slovenia.
4. Devos, H., **Ranchet, M.**, Tant, M., Akinwuntan, A.E. (2016, May, 10-13) Agreement between medical and practical fitness-to-drive recommendations after stroke. World Congress for Neurorehabilitation, Philadelphia, US.
5. Devos, H., Akinwuntan, A. E, **Ranchet, M.**, Tant, M. (2015) Physician rating of fitness to drive in multiple sclerosis. Proceedings of the 20th CMSC Annual Meeting, Indiana, US.
6. Cavallo, V., **Ranchet, M.**, Espie, S., Vienne, F., Dang, N.-T. (2015) Improving the perceptibility of motorcycles through innovative headlight configurations, TRB 2015 - Transportation Research Board 94th Annual Meeting, WASHINGTON D.C, ETATS-UNIS, 2015-01-10, Transportation Research Board - TRB, 23p.
7. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L, Etienne, V., Marin-Lamellet, C., Broussolle, E. (2014, July 8-13) Investigating executive functions on driving simulator. Proceedings of *the 28th International Congress of Applied Psychology*, Paris, France.
8. **Ranchet M.**, Cavallo, V., Colomb, M., Pinto, M., Toinette, M. Thierry, M. (2014, July 8-13) Effect of driver age on the detection of vulnerable road users. Proceedings of *the 28th International Congress of Applied Psychology*, Paris, France.

9. Cavallo, V., **Ranchet, M.**, Pinto, M., Espié, S., Vienne, F., Dang, N-T (2014) Evaluation of innovative motorcycle headlight configurations: effect on car drivers' perception of motorcycles' motion, ICAP 2014, 28th International Congress of Applied Psychology, Paris, France, 2014-07-08, 1p
10. **Ranchet, M.**, Broussolle, E., Marin-Lamellet, C., Laurent, B., & Paire-Ficout, L. (2010, December 9-12). Impaired updating ability in drivers with mild to moderate Parkinson's disease. Paper presented at *the 7th International Congress on Mental Dysfunctions & Other Non-Motor features in Parkinson's Disease*, Barcelone, Spain.

ACTN - Communications orales dans un congrès national avec actes

1. Ranchet, M., Hoang, I., Cheminon, M., Derollepot, R., Devos, H., Perrey, S., Luauté, J., Danaila, T, Paire-Ficout, L. Performance de marche des personnes diagnostiqués avec la maladie de Parkinson : une étude pilote RFTM 2021, Paris, France.
2. Lafont, S., Pilet, C., Bellet, T., **Ranchet, M.**, Chavoix, C., Paire-Ficout, L. Utilisation des Aides à la Conduite et Perception des Véhicules Automatisés selon le Genre : Résultats d'une Cohorte Française de Conducteurs âgés RFTM 2021, Paris, France.
3. **Ranchet, M.**, Hoang, I., Cheminon, M., Derollepot, R., Devos, H., Perrey, S., Luauté, J., Danaila, T,, Paire-Ficout, L. Mesure de l'activité cérébrale pendant la marche chez des patients Parkinsoniens : étude pilote. 10^{ème} conférence de Psychologie Ergonomique (EPIQUE), 9-12 Juillet 2019, Lyon.
4. **Ranchet, M.**, Cavallo, V., Pinto, M., Espié, S., Vienne, F., Dang, N-T (2013). Comment améliorer la perception des motocycles par les automobilistes à l'approche d'une intersection?, Journées scientifiques 'Deux-roues motorisés', Bron, France, 9p

COM - Communications orales dans un congrès national sans actes

1. **Ranchet, M.**, Morgan, J., Akinwuntan, A., Devos, H. (2017) Mesures physiologiques de la charge cognitive dans le vieillissement. Séminaire ARPEGE, Paris, France
2. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout L., Alauzet, A. (2016) Législation concernant la conduite automobile des personnes handicapées : en France et en Europe
3. Cavallo, V., **Ranchet, M.**, Espié, S., Vienne, F., Dang, N.-T. (2015) Avimoto - un projet pour améliorer la visibilité des motos, Séminaire COTITA, Lyon, France, 2015-10-15, 15.
4. Cavallo, V., Espié, S., **Ranchet, M.**, Vienne, F., Dang, N.-T., (2014). Innovative motorcycle headlight design as a means of improving motorcycle perceptibility for car drivers, International Conference VISION, Versailles, France, 2014-10-14, Société des ingénieurs de l'automobile - SIA, 2.

AFF – Communication par affiche

1. Gasne, C., Hoang, I., **Ranchet, M.**, Evennou, M., Le Guiet, J.-L., Luauté, J., Coignard, P., & Paire-Ficout, L. (2023, octobre 12). Fitness-to-drive assessment of post-stroke patients: A retrospective study comparing data from two centers. *38ème congrès de la société française de médecine physique et de réadaptation*.
2. **Ranchet, M.**, Derollepot, R., Villa, C., Ndiaye, D., Moreau, F., Bremond, R., Fort, A. Prefrontal activity during driving in young adults. Neuroergonomics Conference, 13-15 September 2021

3. Hoang, I., Cheminon, M., **Ranchet, M.**, Derollepot,R., Devos, H., Perrey,S., Luauté, J., Paire-Ficout, L., Danaila, T. (2020) Effects of a highly intensive exercise-based intervention program (Sirocco) on prefrontal dorsolateral cortex activity and gait performance in patients with Parkinson's Disease: a pilot study. World Congress of Neurorehabilitation, Lyon, France
4. **Ranchet, M.** Hoang, I., Cheminon, M., Derollepot,R., Devos,H., Perrey,S., Luauté, J., Danaila,T., Paire-Ficout, L. (2020) Dorsolateral prefrontal activity during dual-task walking and cognitive functions in patients with Parkinson's Disease World Congress of Neurorehabilitation, Lyon, France
5. **Ranchet M.**, Morgan, J., Akinwuntan, A., Devos, H. (2019), Exploring the cognitive workload during a visual search task in Parkinson's disease, *International Congress Of Parkinson's Disease and Movement Disorders*, Sept 2019, Lyon.
6. Hoang I., **Ranchet M.**, Cheminon M., Derollepot R., Devos H., Perrey S., Luauté J, Paire-Ficout L., Danaila T.(2019), Effects of an intensive rehabilitation program (SIROCCO) on prefrontal activity during walking in patients with Parkinson Disease, *International Congress Of Parkinson's Disease and Movement Disorders*, Sept 2019, Lyon.
7. Hoang I, **Ranchet M.**, Cheminon M, Luauté J, Paire-Ficout L, Danaila T. (2018). Effet d'un programme intensif auprès de patients atteints de la Maladie de Parkinson : premiers résultats. Les 31èmes Entretiens Jacques Cartier : Comment faire rimer innovations avec inclusion ? 13-14 novembre 2018, Lyon.
8. Hoang, I., **Ranchet, M.**, & Paire-Ficout, L. (2018). Cognitive load during a walking task: A pilot study. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61, e445. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.1036>
9. Tchoulfayan M., Delphin-Combe F., **Ranchet M.**, Paire-Ficout L., Coste M-H. (2018). Etude pilote sur l'efficacité du programme d'Accompagnement des patients avec trouble COgnitif dans le Maintien ou le Processus d'Arrêt de la conduite automobile en Gériatrie et Neurologie (ACCOMPAGNE) : résultats préliminaires. Association pour la Promotion des Hôpitaux de Jour pour Personnes Agées. 38ème journée des hôpitaux de jour gériatrique, Colmar, 7-8 juin 2018.
10. **Ranchet, M.**, Morgan, J. C., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2018). Cognitive determinants of visual search in patients with Parkinson's disease. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61, e253. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.587>
11. Gangeddula, V., **Ranchet, M.**, Akinwuntan, A., Bollinger, K., & Devos, H. (2017, Oct 23-28). Effect of Cognitive Demand on Functional Visual Field Performance in Senior Drivers with Glaucoma. *Accepted Abstract for ACRM 94th Annual Conference, Progress in Rehabilitation Research, Atlanta, US.*
12. Moon, S., **Ranchet, M.**, Tant, M., Akinwuntan, A., Devos, H. (2017, Oct 23-28) Comparison of unsafe driving across medical conditions: a cohort study. *Accepted Abstract for ACRM 94th Annual Conference, Progress in Rehabilitation Research, Atlanta, US.*

RAPP - Rapports de recherche sur contrats

1. Hoang, I., Gasne, C., Evennou, M. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L. (2022). Livrable intermédiaire : « Reprise de la conduite automobile chez les personnes victimes d'accident vasculaire cérébral », Projet RETROUVE, Convention Université Gustave Eiffel, DSR, 17 pages.

2. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L., Gasne, C., Bordel, S., Lafont, S. (2022). Livrable 8.2 « Bénéfices et limites de l'utilisation d'un véhicule automatisé pour la population de conducteurs âgés », Projet SURCA, Convention Université Gustave Eiffel, FSR, DSR, 52 pages.
3. **Ranchet, M.**, Paire-Ficout, L., Llorens, M., Delphin-Combe, F. (2021). Livrable intermédiaire : « Etat de l'art, objectifs du projet et méthodologie » Aménagement de la conduite automobile chez des patients présentant des troubles neurocognitifs : programme adapté d'éducation thérapeutique en gériatrie et neurologie Projet ACCOMPAGNE, financé par la DSR , 1-28
4. Pilet, C., Paire-Ficout, L., **Ranchet, M.**, Bordel, S., Lafont, S. (2020). Livrable 8.2 « Méthodologie de recueil des données pour l'analyse des besoins des usagers âgés et acceptabilité des véhicules automatisés », Projet SURCA, financé par la FSR, nombre de pages.
5. Devos, H., **Ranchet, M.**, Tant, M. (2016). Fitness to Drive in Medical Conditions: Descriptive Report of Clients Evaluated at the Centre for Evaluation of Fitness to Drive and Car Adaptations (CARA) from 2010 to 2014. Brussels, Belgium. Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid / Institut Belge pour la Sécurité Routière – Centre de Connaissance Sécurité Routière
6. Villa, C., Girard, J., Brémond, R., **Ranchet, M.**, (2015). R2I SIMUHDR - Livrable 2 : Expérience sur simulateur de conduite - Scenarios, implémentations et résultats, p.43.
7. **Ranchet, M.**, Tant, M., Devos, H. (2014). Analyse descriptive des candidats évalués par le CARA en 2013 pour leur aptitude à la conduite. Bruxelles, Belgique: Institut Belge pour la Sécurité Routière – Centre de Connaissance Sécurité Routière. Rapport de recherche D/2015/0779
8. Cavallo, V., **Ranchet, M.**, Pinto, M., Espie, S., Vienne, F., Dang, Nguyen-Thong (2013). Projet AVIMOTO : Améliorer la Visibilité des MOTOcycles. YouTube link : <https://youtu.be/hhiifKwe3K8>

RAPP - EX Rapports d'expertise

1. **Ranchet, M.**, Lequeux, Q. & Temmerman, P. (2018). Dossier thématique Sécurité routière n°14 Aptitude à la conduite. Bruxelles, Belgique: Vias institute –Centre Connaissance de Sécurité Routière

