



ASSISTANCE À LA CONDUITE AUTOMOBILE POUR LES
PERSONNES VIEILLISSANTES : CONCEPTION ET ÉVALUATION
D'UN SYSTÈME AFFICHAGE TÊTE HAUTE

Thèse présentée comme exigence partielle
du doctorat en informatique cognitive

Par Perrine Ruer

Juillet 2019

<http://r-libre.teluq.ca/1728>

Le 03 avril 2019

Le jury de la thèse de Madame Perrine Ruer

Membres du jury

Béatrice Pudelko
Université TÉLUQ
Président du jury

Charles Gouin-Vallerand
Université TÉLUQ
Directeur de recherche

Évelyne F. Vallières
Université TÉLUQ
Codirectrice de recherche

Roger Nkambou
Université du Québec à Montréal
Examineur interne

Patricia Delhomme
Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de
l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)
Examineur externe

DÉDICACE

À Victoire et François,

À Florence et Pascal,

À Yvette et André,

REMERCIEMENTS

À mes directeurs de thèse, Charles Guoin-Vallerand et Évelyne F. Vallières, professeurs à l'université TÉLUQ. Merci de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce travail de thèse, de m'avoir fait confiance et de m'avoir soutenu tout au long de mon parcours. Vous avez su me guider pendant ces années par vos interventions pertinentes, votre disponibilité et votre écoute. Je vous en remercie chaleureusement et c'est un réel plaisir de travailler à vos côtés.

À l'ensemble de mes collègues du laboratoire LICEF et de l'université TÉLUQ de m'avoir accueilli. Je vous remercie pour vos échanges d'idées, vos conseils, vos visions des choses. Merci à Richard Hotte, Karim Ait-Seddik, Saad Abdessettar, Neila Mezghani, Belkacem Chikhaoui, Susan M. Ferreira, Guillaume Spalla, Djamila Abbas et Mélanie Samson entre autres. Je remercie également Jacques Bergeron et Martin Paquette de l'Université de Montréal pour leur collaboration et leur aide avec le simulateur de conduite. Merci à Pierre McDuff de l'Université de Montréal pour son aide très précieuse dans les analyses statistiques. Ce fut un réel plaisir de vous côtoyer durant mes années de doctorat. Un remerciement particulier à Damien Brun, collègue devenu ami, qui selon moi est le meilleur journaliste du monde. Merci pour ta bonne humeur et ton soutien !

Aux personnes qui m'ont aidée dans la réalisation de cette recherche doctorale. Je remercie messieurs Marco Harrisson et Yvon Lapointe de la Fondation CAA-Québec qui a financé une partie de la présente recherche. Merci à Imane Mouzoune, Julien Brochu, Audrey Leroux et Héloïse Fillion. Merci aux participants de m'avoir accordé de leur temps pour ma recherche.

À mes parents, mille mercis à ma mère et mon père de m'avoir permis d'être qui je suis. À ma famille et à mes amis. Je les remercie pour leur écoute, leur soutien et leur également tout au long de mon parcours universitaire. Je ne sais pas si vous avez toujours compris ce que je faisais, mais le principal est que votre amour, votre amitié et votre présence m'aient guidée tout au long de ce chemin pour compléter ce doctorat.

À mon conjoint François que je remercie du fond du cœur. Je te suis reconnaissante pour ton soutien infaillible, ta confiance en nous et ton incontestable optimisme. Je suis comblée de t'avoir en partenaire de vie.

TABLES DES MATIÈRES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES APPUYANT CETTE THÈSE	xi
LISTE DES FIGURES.....	xiv
LISTE DES TABLEAUX.....	xvii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	xx
RÉSUMÉ	xxii
ABSTRACT	xxiii
INTRODUCTION	1
0.1 Position du problème	1
0.2 Définitions	4
0.2.1 Activité de conduite automobile	4
0.2.2 Personne vieillissante	5
0.2.3 Systèmes d'aide à la conduite automobile	5
0.2.4 Interaction humain-machine.....	6
0.3 La question de recherche, les hypothèses et les objectifs	7
0.3.1 L'identification de la problématique	7
0.3.2 Les questions de recherche.....	10
0.3.3 La formulation d'hypothèses	10
0.3.4 Les objectifs de cette recherche	11
0.3.5 Les contributions de la thèse	12
0.4 Organisation de la thèse.....	13
CHAPITRE I REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	14
1.1 La conduite automobile et le conducteur.....	15
1.1.1 Caractéristiques générales de la conduite automobile	15
1.1.2 Une activité multiniveaux pour le conducteur	18

1.1.3	L'implication du conducteur	25
1.1.4	Résumé de fin de section.....	35
1.2	Les personnes vieillissantes	36
1.2.1	Enjeu sociétal	36
1.2.2	Activité de conduite pour ces personnes	37
1.2.3	Changements fonctionnels dus à l'avancée en âge	39
1.2.4	Types de diminutions liés au vieillissement normal	40
1.2.5	Résumé de fin de section.....	48
1.3	Les systèmes d'aide à la conduite.....	49
1.3.1	Différentes catégories de système d'aide à la conduite	50
1.3.2	Impact des systèmes d'aide sur la conduite automobile	53
1.3.3	Éducation pour l'utilisation des systèmes d'aide à la conduite	54
1.3.4	Résumé de section.....	57
1.4	Le développement d'Interfaces Humain-Machine pour ces systèmes	58
1.4.1	Méthode Conception Centrée sur l'Utilisateur (CCU).....	58
1.4.2	Évaluation des interfaces avec les critères heuristiques.....	61
1.4.3	Affichage de l'interface du système d'aide à la conduite	68
1.4.4	Résumé de la section.....	73

CHAPITRE II IDENTIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES DES PERSONNES VIEILLISSANTES ET LEURS BESOINS POUR UN SYSTÈME D'AIDE À LA CONDUITE (ÉTUDE EXPÉRIMENTALE 1)

2.1	Préambule	75
2.2	Problématique et hypothèses de cette étude 1	77
2.3	Méthode	81
2.3.1	Participants.....	82
2.3.2	Matériel	83
2.3.3	Procédure.....	84
2.4	Résultats.....	85
2.4.1	Présentations des résultats descriptifs	85
2.4.2	Présentations des résultats en fonction des tests d'hypothèses	92
2.5	Discussion-Conclusion de l'étude 1	97

CHAPITRE III CONCEPTION DU PROTOTYPE AVEC ÉVALUATION EN CONDITION RÉELLE (ÉTUDE EXPÉRIMENTALE 2)

3.1	Problématique et hypothèses de l'étude 2	104
-----	--	-----

3.2	Phase de conception du matériel.....	107
3.2.1	Choix du système d’affichage tête haute	108
3.2.2	Conception de l’application mobile	110
3.2.3	Utilisation de la technique du Magicien d’Oz.....	113
3.3	Phase d’évaluation.....	115
3.3.1	Sollicitation des participants	115
3.3.2	Conduite réelle	117
3.3.3	Procédure.....	119
3.3.4	Mesures utilisées	122
3.4	Résultats.....	126
3.4.1	Analyses des expériences avec les systèmes technologiques	127
3.4.2	Comportement des conducteurs à l’égard du système selon la charge mentale	139
3.4.3	Évaluations subjectives après la conduite	151
3.5	Discussion/Conclusion de cette 2 ^e étude	163
	CONCLUSION.....	171
4.1	Synthèse de la recherche.....	171
4.2	Limites de la recherche	174
4.3	Contributions	176
4.3.1	Contributions théoriques	176
4.3.2	Contributions méthodologiques	177
4.3.3	Contributions appliquées.....	178
4.4	Conclusion	178
	ANNEXE A ÉTUDE 1 – CERTIFICAT D’ÉTHIQUE.....	182
	ANNEXE B ÉTUDE 1 - QUESTIONNAIRE TROIS MOIS APRÈS L’EXPERIMENTATION	184
	ANNEXE C ÉTUDE 2 – CERTIFICAT D’ÉTHIQUE	190
	ANNEXE D ÉTUDE 2 - FORMULAIRE D’INFORMATION ET DE CONSENTEMENT PARTICIPATION AU PROJET	192

ANNEXE E ÉTUDE 2 - FORMULAIRE D'AUTORISATION D'UTILISATION À L'IMAGE.....	196
ANNEXE F ÉTUDE 2 - QUESTIONNAIRE AVANT CONDUITE	198
ANNEXE G ÉTUDE 2 - QUESTIONNAIRE APRÈS CONDUITE – GROUPE TÉMOIN	208
ANNEXE H ÉTUDE 2 - QUESTIONNAIRES APRÈS CONDUITE – GROUPE EXPERIMENTAL	213
BIBLIOGRAPHIE	227

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES APPUYANT CETTE THÈSE

Conférences internationales avec actes et/ou comité de lecture

Ruer, P., Ferreira, S.M, Vallières, E.F, Gouin-Vallerand, C. (2017) Designing a Mobile Application for Older Adults: A Case Study to improve Safe Driving, CHI 2017, Workshop on Mobile Interface Design with Older Adults, Denver, CO, États-Unis, Mai, 6-11 (Prix pour présentation à un congrès)

Ruer, P., Gouin-Vallerand, C. et Vallières, E.F. (2016) Development of a context-awareness driver assistance system for the elderly drivers. Dans AutomotiveUI'16, Adjunct Proceedings, October 24-26, 2016, Ann Arbor, MI, USA.

Ruer, P., Gouin-Vallerand, C. et Vallières, E.F (2016) Persuasive strategies to improve driving behaviour of elderly drivers by a feedback approach. Dans Proceedings Persuasive Technology — 11th International Conference PERSUASIVE 2016, Salzburg, Austria.

Ruer, P, Gouin-Vallerand, C., Zhang, L., Lemire, D. et Vallières, E.F (2015) An analysis tool for the contextual information from field experiments on driving fatigue. Dans *Proceedings of 9th Int'l and Interdisc. Conf. on Modeling and Using Context, Larnaca, Cyprus.*

Conférences nationales

Vallières, E.F et Ruer, P. (2017) Sécurité routière et conducteurs vieillissants : Vérification de l'utilité de systèmes d'aide à la conduite sur la route, Colloque annuel du Réseau de Recherche en Sécurité Routière, Québec, Mai 18.

Ruer, P., Vallières, E.F et Gouin-Vallerand, C. (2015). Intelligent Transportation System for fatigue: are they appropriate for older drivers? A short literature review. Dans Proceedings 25th CARSP Conference, May 28-30 2015, Ottawa, Canada.

Rapport de recherche avec arbitrage

Ruer, P. (2016). Le développement d'un système d'assistance à la conduite sensible au contexte adapté pour les personnes vieillissantes. Projet de thèse, Télé-Université du Québec, Montréal, QC.

Ruer, P. (2013). La prévention des prises de voie à contresens. Mémoire de fin d'études, Université Paris-sud 11, Orsay.

Rapports de recherche destiné à l'industrie

Ruer, P. et Vallières, E.F (2018). Sécurité routière et systèmes d'aide à la conduite conducteurs québécois de 55 ans et plus – entrevues effectuées quatre mois après la conduite en laboratoire et sur route, Fondation CAA, 46 p.

Ruer, P. et Vallières, E.F (2018). Sécurité routière, systèmes d'aide à la conduite et conducteurs vieillissants québécois - Entrevues un mois après la conduite en laboratoire et sur route Fondation CAA, 51 p.

Vallières, E.F et Ruer, P. (2017). Sécurité routière : systèmes d'aide à la conduite et conducteurs vieillissants québécois, rapport de l'étude (partie 1), Fondation CAA, 120 p.

Vallières, E.F et Ruer, P. (2016). Sécurité routière et conducteurs vieillissants québécois, rapport de l'étude pilote, Fondation CAA, 124 p.

Ruer, P., Vallières, E.F, Gouin-Vallerand, C. et Kendowide, C. (2014). La fatigue chez les conducteurs vieillissants – revue de littérature, Fondation CAA, 57 p.

Affiches et communications

Ruer, P., Gouin-Vallerand, C. et Vallières, E. (2018). Développement d'un système d'aide à la conduite pour les personnes vieillissantes. Poster présenté au 8e colloque en Informatique Cognitive, Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada.

Ruer, P., Gouin-Vallerand, C. et Vallières, E. (2014). La prévention de la fatigue au volant chez les conducteurs âgés. Poster présenté à la conférence du Réseau de Recherche en Sécurité Routière du Québec, Université de Laval, Québec, Canada. (2e prix de la meilleure affiche)

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 1 - Cadre conceptuel de la recherche	14
Figure 2 - Modèle SRK proposé par Rasmussen (1983, notre traduction)	20
Figure 3 - Diagramme simplifié du modèle SRK de Rasmussen adapté à la conduite automobile (Van Elslande, 2000, p.15)	21
Figure 4 - Modèle de Michon (1985, notre traduction)	23
Figure 5 - Les étapes du cycle de la CCU (texte issu de la figure d'Ergolab) ...	60
Figure 6 - Affichage tête haute proposée par la compagnie Continental	72
Figure 7- Déroulement de la recherche	76
Figure 8 - Système HudwayGlass	109
Figure 9 - Interfaces de la première sous-application de notre application mobile AR-Driving Assistant	111
Figure 10 - Interface de la seconde sous-application	112
Figure 11 - Méthode du magicien d'Oz	114

Figure 12 - Le véhicule instrumenté LISA et ses installations intérieures	120
Figure 13 - Résumé du déroulement de l'expérimentation.....	121
Figure 14 - Placement des capteurs sur la main gauche du participant	124
Figure 15 - Répartition de la possession des systèmes d'aide à la conduite selon le groupe (témoin et expérimental)	129
Figure 16 - Niveau de familiarité par système selon les participants (N=34)..	130
Figure 17 - Opinion des participants concernant les systèmes d'aide à la conduite (N=34).....	131
Figure 18 - Fréquence d'utilisation des technologies informatiques par les participants	136
Figure 19 - Données descriptives de la température cutanée selon le groupe de référence.....	142
Figure 20 - Données descriptives de l'activité électrodermale selon le groupe de référence.....	143
Figure 21 - Données descriptives pour la température cutanée selon le genre	144
Figure 22 - Données descriptives pour l'activité électrodermale selon le genre	145
Figure 23 - Valeurs attribuées par les participants selon le groupe et selon les dimensions de l'échelle NASA-TLX	148

Figure 24 - Qualités du système évaluées par les participants.....	152
Figure 25 - Défauts du système évalués par les participants	153
Figure 26 - Fréquence de réponse selon le critère évalué par le groupe expérimental (n=17).....	157
Figure 28 - Fréquence de réponse des questions évaluées par le groupe expérimental (n=17).....	159

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 1 - Exemples de système ADAS	50
Tableau 2 – Les critères de Bastien et Scapin (1993)	63
Tableau 3 – Détails sociodémographiques des participants.....	82
Tableau 4 - Les questions et réponses relatives aux craintes et à la sécurité lors de la conduite automobile	86
Tableau 5 - Les questions et réponses relatives au degré d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite pendant la conduite automobile.....	88
Tableau 6 - Les questions et réponses relatives à l'expérience avec les systèmes d'aide à la conduite	90
Tableau 7 - Tableau croisé de la question 8 et le genre	95
Tableau 8 - Tableau croisé de la question 12 et le genre	95
Tableau 9 - Récapitulatif des hypothèses testées dans l'étude 1.....	98
Tableau 10 – Fonctionnalités de la seconde sous-application	112

Tableau 11 - Résultats descriptifs des participants	127
Tableau 12 – Corrélations entre la possession et la familiarité avec un système d'aide à la conduite	132
Tableau 13 - Corrélations entre la possession et l'opinion générale avec un système d'aide à la conduite	133
Tableau 14 - Corrélations entre la familiarité et l'opinion générale avec un système d'aide à la conduite	134
Tableau 15 - Corrélations partielles entre la familiarité et l'opinion générale avec un système d'aide à la conduite, tenant compte de la possession du système	134
Tableau 16 - Récapitulatif des hypothèses testées dans l'étude 2.....	138
Tableau 17 - Comparaison des moyennes avec ou sans notification du système du groupe expérimental.....	140
Tableau 18 – Statistiques descriptives pour la température cutanée et l'activité électrodermale selon le groupe.....	141
Tableau 19 - Statistiques descriptives pour la mesure de la température cutanée (en degré Celsius).....	143
Tableau 20 - Statistiques descriptives pour la mesure de l'activité électrodermale (en microsiemens)	144

Tableau 21 - Statistiques descriptives des dimensions évaluées avec l'échelle NASA-TLX selon le groupe	147
Tableau 22 - Résultats du test de Mann-Whitney	149
Tableau 23 - Test multivarié ANOVA (MANOVA pour Multivariate Analysis of Variance)	151
Tableau 24 - Résultats descriptifs des qualités évaluées.....	153
Tableau 25 - Résultats descriptifs des défauts évalués	154
Tableau 26 - Résultats descriptifs des critères ergonomiques	155
Tableau 27 - Statistiques descriptives pour les différents critères d'évaluation du système	155
Tableau 28 - Résultats descriptifs des critères de persuasion	160
Tableau 29 - Résumé des hypothèses spécifiques de l'étude 2.....	165

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ADAS : Advanced Driver Assistance System. Notre traduction de l'anglais : Système Avancé d'Assistance à la Conduite.

CAA : Association Canadienne des Automobilistes.

CCU : Conception Centrée Utilisateur.

CER : Comité d'Éthique de la Recherche.

FCAA : Fondation CAA - Québec.

IHM : Interaction Humain-Machine.

IVIS : In-Vehicle Information Systems. Notre traduction de l'anglais : système d'information dans le véhicule.

NASA-TLX : NASA Task Load index.

Dans ce document, le générique masculin désigne à la fois les femmes et les hommes et est utilisé dans le but d'alléger le texte.

RÉSUMÉ

Les personnes vieillissantes sont une population qui va augmenter dans les prochaines années dans la plupart des pays développés. La conduite automobile est une composante essentielle dans la vie quotidienne de ces personnes. Les sociétés sont amenées à réfléchir à la façon d'encourager les conducteurs vieillissants à rester mobiles avec leur véhicule personnel le plus longtemps possible et de manière sécuritaire. Une façon d'encourager la conduite automobile est l'utilisation des systèmes d'aide à la conduite. Ceux-ci ont l'avantage d'être modulables et personnalisables pour chaque véhicule et conducteur. Dans cette recherche, nous nous sommes interrogés sur l'adaptation de ce type de système pour les conducteurs vieillissants. Nos objectifs sont d'étudier les caractéristiques de cette catégorie de conducteurs, puis à partir de cette analyse, de concevoir un système d'aide à la conduite et de l'évaluer en conditions réelles. La méthodologie utilisée est la méthode de conception centrée utilisateur. En premier, la réalisation d'une étude qualitative a permis d'analyser les besoins et attentes des conducteurs vieillissants (n=90). Les résultats de la première étude ont permis d'identifier que la diminution de la vision est la plus grande sensibilité lors de la conduite automobile avec l'avancée en âge. De plus, la définition de pictogrammes pour des interfaces spécifiques a aussi été réalisée avec les utilisateurs concernés. Les résultats se rapprochent de ce qui existe dans le Code de la sécurité routière. À partir de ces conclusions, la conception d'un système a été faite correspondant aux besoins et attentes. Une application mobile a été développée pour un système d'affichage tête haute. Puis une étude expérimentale a été réalisée pour évaluer le système en conditions réelles de conduite avec les mesures de la charge mentale et de l'ergonomie du système d'aide de conduite avec deux groupes de conducteurs vieillissants (témoin et expérimental). Les résultats indiquent qu'il n'y a pas eu de la charge mentale supplémentaire pour les conducteurs vieillissants du groupe expérimental. Ces derniers l'ont évalué positivement et indiqué que ce système pourrait les assister pour conduire plus longtemps. Nous discutons sur la façon dont cette étude intersectorielle contribue au développement d'un système d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants et à l'amélioration de leur conduite à long terme et plus largement, à la sécurité routière.

Mots clés : Conducteurs vieillissants; Système d'aide à la conduite; Application mobile; Système d'affichage tête haute; Ergonomie des interactions.

ABSTRACT

Older adults are a population which will increase in the coming years in a majority of developed countries. Driving is an essential component for this category of people. There is a challenge in societies on how to ensure older drivers to be mobile with their personal vehicles as long as possible in a safe way. This is especially true for those who live in places where there may be fewer adapted transport available. One way to encourage driving is through driver assistance systems. They have the benefits of being customizable and flexible to each vehicle and each driver. In this research, we investigate the adaptation of this kind of system for older drivers. Our objectives are to analyze older drivers' characteristics and then, based on this analysis, to design a driving assistance system and assess it in real-world conditions. The used methodology is the centered-user design method. First, a qualitative study has been conducted to analyze needs and expectations of older drivers (n=90). Results from this first study have identified that decreased vision is the most important impairment with aging for our sample. In addition, the definition of pictograms for specific interfaces has also been completed and they are similar to what exists in the Highway Safety Code. We pursue the research with the design of a driving system fitting with the needs and expectations collected. Results led to the development of a mobile application for a Head-Up Display to compensate for impaired vision. Finally, an experimental study has been done to assess the system under real-world conditions. We collected measures of mental workload and usability with two groups of older drivers: a control group (n=17) and an experimental group (n=17). The results indicate that there is a slight additional mental workload for the experimental group's drivers. In addition, the system has been subjectively assessed positively which indicated that the system could assist older drivers to drive longer. We discuss how this multidisciplinary research contributes theoretically and methodologically to the development of a driving system for older drivers and how it will enhance their driving in the long term and more broadly, to road safety.

Keywords: Older drivers; Driver Assistance System; Mobile Application, Head-Up Display; Ergonomics Interactions.

INTRODUCTION

0.1 Position du problème

De nombreuses sources démographiques nous indiquent que la population des pays développés vieillit, ce qui se traduit par une augmentation des personnes de 60 ans et plus (Sivak & Schoettle, 2012). Le pourcentage des personnes vieillissantes va doubler d'ici l'année 2050 et représentera environ 20 % de la population globale. En chiffres, cela représente 2 milliards de personnes (Nations Unies, 2015).

Pour se déplacer, les personnes vieillissantes marchent, font du vélo ou utilisent les véhicules automobiles. Bien que des moyens de transport alternatifs à la voiture soient proposés aux personnes vieillissantes tels que le taxi ou les transports publics, ces personnes préfèrent leur véhicule personnel (Eby & Molnar, 2014). Ceci s'explique par le fait que les transports alternatifs ne répondent pas à leur besoin de voyage ou qu'ils n'apportent pas une sécurité personnelle suffisante (Oxley, Fildes, Corben, & Langford, 2006). Pour cette catégorie de personnes, la voiture est synonyme de maintien d'autonomie, de confiance en eux et est une manière de rester indépendant ; encore plus pour ceux qui vivent dans des zones rurales ou éloignées (Charlton et al., 2006; Eby & Molnar, 2014; Oxley et al., 2006). D'autant que la cessation de la conduite a des conséquences négatives sur la qualité de vie pour la majorité des personnes vieillissantes (Eby & Molnar, 2014; Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). Beaucoup de ces personnes ont donc une préférence pour la conduite automobile,

signifiant qu'elles occupent une place importante sur les routes (Van Elslande, 2003) et qu'elles veulent conduire aussi longtemps que possible. Il s'agit de considérer leur impact sur la sécurité routière.

Toutefois, des questions se posent concernant leurs capacités et leurs aptitudes à pouvoir conduire avec l'avancée en âge et par conséquent, des mesures à mettre en œuvre pour les aider à conduire. La conduite est une activité complexe qui exige des actions rapides et donc de bonnes habiletés de la part du conducteur. Cependant, à cause du vieillissement, des déficiences à plusieurs niveaux (cognitif, moteurs, physique) apparaissent et affectent la conduite automobile (Oxley, Langford, Koppel, & Charlton, 2013). La prise de médicaments vient aussi altérer les compétences de conduite et réduit les performances sensori-motrices (par exemple, la diminution de la vigilance) (Eby & Molnar, 2014; Fontaine, 2003). En outre, de nos jours, le pourcentage de personnes avec un permis de conduire est supérieur pour les personnes vieillissantes que pour les personnes jeunes (Sivak & Schoettle, 2012). Il est alors dans l'intérêt des pays de permettre aux personnes vieillissantes de conduire le plus longtemps possible pour se déplacer en toute sécurité.

L'amélioration des conditions routières est une manière de permettre aux conducteurs vieillissants de se déplacer plus longtemps, et ce, de manière sécuritaire. Il existe différentes mesures qui peuvent être mises en œuvre pour réduire le taux d'accidents de ces conducteurs selon le chercheur Reimer (Reimer, 2014). La première mesure serait d'informer les conducteurs vieillissants en leur proposant des cours théoriques, comme pour les jeunes. Toutefois, les conducteurs vieillissants ne souhaitent pas retourner à l'école de conduite, estimant avoir une large expérience de conduite. La seconde mesure est d'adapter les infrastructures routières, mais cela n'est pas toujours possible à cause du coût financier que cela implique pour les sociétés. Par exemple, une voie sur une

autoroute pourrait être réservée aux conducteurs vieillissants. Enfin, la troisième mesure est de développer des dispositifs technologiques d'aide à la conduite (Reimer, 2014). Les voitures autonomes (ou voitures dites sans conducteur) sont au cœur de l'actualité aujourd'hui et sont une solution pour améliorer la mobilité des personnes vieillissantes avec les infrastructures existantes. Ce type de voiture entièrement automatisée, capable de naviguer sur les routes alors que le conducteur lit un journal ou fait une sieste, reste cependant encore loin de notre réalité puisque les premiers véhicules autonomes ne sont prévus qu'à partir de 2022 au Canada, et ce, uniquement dans des zones précises prévues pour ce type de véhicule (Cutean, 2017)¹. Mais d'ici là, ce sont les technologies embarquées dans les véhicules qui continueront de compter sur un conducteur « responsable » qui seront capables de reprendre le contrôle du véhicule en tout temps.

Pour que ces véhicules soient efficaces et répondent aux besoins des conducteurs vieillissants, il est important d'augmenter la sensibilisation et la formation nécessaire à l'usage de ces futurs véhicules au travers de systèmes d'aide à la conduite (Reimer, 2014). L'avantage de ces systèmes est qu'ils peuvent être adaptés à n'importe quel profil de conducteur (par exemple, jeune ou vieillissant). Il y a un intérêt pour les sociétés de promouvoir ce type de technologies pour la sécurité routière et de permettre aux conducteurs vieillissants de maintenir la pratique de la conduite automobile (Davidse, 2006; Rakotonirainy & Steinhardt, 2009; Reimer, 2014). De plus, ces systèmes sont capables de réduire l'implication du conducteur dans les accidents. Notamment en apportant une aide aux diminutions des capacités du conducteur vieillissant, et de manière plus large en réduisant l'erreur humaine (Davidse, 2006), à condition que le système d'aide

¹ Page 11 du rapport du conseil des technologies de l'information et des communications, Récupéré le 13 janvier 2019 : https://www.ledevoir.com/documents/pdf/rapport_voiture_autonome_012018.pdf

à la conduite soit bien conçu. Autrement, ce système risque de distraire le conducteur si la conception est mauvaise ou si le conducteur est mal formé pour l'utiliser. Dans la littérature scientifique, on trouve peu de données sur les systèmes d'aide à la conduite développés pour les conducteurs vieillissants (Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). On constate aussi qu'il y a un problème d'acceptation de certaines technologies informatiques par les personnes vieillissantes. Une raison étant que ces technologies se développent de plus en plus rapidement et les interactions avec celles-ci deviennent de plus en plus complexes (Peleg-Adler, Lanir, & Korman, 2018).

En raison de la forte augmentation des personnes âgées prévue dans les prochaines années, des diminutions dues au vieillissement, et de leur désir de conduire le plus longtemps possible, il importe de porter une grande attention au rapport qu'entretiennent les conducteurs vieillissants avec les technologies. Les sociétés ont ainsi intérêt à développer des systèmes d'aide à la conduite adaptés à ces personnes pour les accompagner dans leur conduite automobile, puisque la voiture personnelle est le moyen le plus favorisé pour voyager (Eby & Molnar, 2014). Cependant, on sait encore peu de choses sur la conception et l'utilisation de ce type de systèmes pour la catégorie des personnes vieillissantes.

0.2 Définitions

Avant de poursuivre, nous souhaitons définir les termes clés du présent manuscrit. Chaque définition est ensuite reprise et explicitée de manière exhaustive dans la section qui en traite plus spécifiquement.

0.2.1 Activité de conduite automobile

L'activité de conduite automobile a été définie par l'auteur Neboit comme suit :
« Conduire un véhicule, c'est effectuer un déplacement dans un environnement

en perpétuelle évolution » (Neboit, 1980). L'activité de conduite est un processus complexe, continu et multitâche qui implique la cognition, la perception et des mouvements moteurs d'une personne dans des contextes très dynamiques (Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). Lors de l'activité de conduite, le conducteur est focalisé sur plusieurs tâches à réaliser simultanément. Ces tâches sont le contrôle du véhicule, la gestion des interactions avec les autres conducteurs et la navigation. D'autres tâches peuvent s'ajouter comme la gestion d'état du véhicule ou les interactions de confort (Forzy, 2004).

0.2.2 Personne vieillissante

La population vieillissante est l'ensemble des personnes qui avance en âge suivant un processus de vieillissement. Toutefois, il n'existe pas nécessairement de correspondance entre l'âge biologique et l'âge fonctionnel, rendant difficile de définir de façon satisfaisante à quel moment on devient une personne vieillissante (Van Elslande, 2003). Nous nous appuyons sur la définition de l'Organisation mondiale de la Santé qui définit une personne vieillissante lorsqu'elle est âgée de 60 ans et plus et qui a un processus normal de vieillissement (c'est-à-dire non pathologique) (OMS, 2018)². En 2017, cette population concernait plus de 8 millions de personnes au Canada, dont un peu plus de 2 millions au Québec (Statistique Canada, 2017).

0.2.3 Systèmes d'aide à la conduite automobile

Les systèmes d'aide à la conduite font référence aux systèmes informatiques présents dans les véhicules. Ces systèmes sont généralement composés de capteurs ou caméras qui recueillent des informations pour le conducteur. Certains

² Récupéré du site internet : <http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>

peuvent prendre le contrôle du véhicule, par exemple en cas de freinage brusque (Mehler, Reimer, Lavallière, Dobres, & Coughlin, 2014; Paris et al., 2015). Il existe deux sortes de systèmes d'aide à la conduite. Les systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS)³ qui permettent de gérer les défaillances du conducteur et de l'informer en temps réel de sa conduite, comme les régulateurs de vitesse⁴. Et il existe les systèmes d'information interactifs (IVIS)⁵ qui proposent de l'aide pour la navigation ou proposent les services de l'Internet dans le véhicule pour accéder aux informations en temps réel ou aux réseaux sociaux directement dans le véhicule (Simões & Pereira, 2009). Dans la littérature, on trouve le terme de systèmes de transport intelligent (STI). Dans la présente recherche, nous faisons une différence entre les STI et les systèmes d'aide à la conduite. Nous définissons les STI comme des systèmes permettant une communication entre véhicules et un objet externe (par exemple, on parle de systèmes V2V entre deux véhicules ou V2I entre le véhicule et une infrastructure) (Auer, Feese, & Lockwood, 2016). Alors que les systèmes d'aide à la conduite sont des systèmes qui assistent le conducteur en utilisant des informations du conducteur, du véhicule et du contexte de conduite pour lui faciliter sa tâche de conduite (Johansson et al., 2004).

0.2.4 Interaction humain-machine

Lorsqu'on parle d'interaction humain-machine (IHM), il s'agit de la conception des technologies informatiques et des échanges entre les utilisateurs et ce type de technologies. C'est un domaine d'étude multidisciplinaire qui implique

³ ADAS traduit de l'anglais Advanced Driver Assistance System

⁴ Récupéré du site internet le 13 janvier 2019 : <http://transport-intelligent.net/champs-des-sti/securite-routiere/-/article362>

⁵ IVIS traduit de l'anglais In-Vehicle Information Systems

l'informatique, les sciences cognitives et les facteurs humains entre autres⁶. Les IHM impliquent de considérer la conception, l'évaluation et l'implémentation de la technologie informatique avec l'étude des principaux phénomènes qui les entourent (Hewett et al., 1992).

Ces définitions nous permettent d'avoir une compréhension des thématiques abordées dans cette recherche doctorale.

0.3 La question de recherche, les hypothèses et les objectifs

Un premier constat mentionné dans l'introduction est que les personnes vieillissantes sont des conducteurs qu'il faut tenir compte au regard de leur augmentation dans les pays développés. Un deuxième constat est que les systèmes d'aide à la conduite semblent être une solution pour assister la conduite automobile de ces conducteurs. Malgré ces constats, peu d'études ont été réalisées sur la conception de systèmes d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants et l'utilisation qu'ils en font. La section suivante porte sur la problématique de notre recherche (0.3.1). Nous aborderons ensuite les questions (0.3.2), les hypothèses (0.3.3) et les objectifs (0.3.4) qui en découlent.

0.3.1 L'identification de la problématique

La population mondiale vieillit et cela représente un enjeu pour la sécurité routière. Au Canada, la province du Québec est concernée par l'augmentation de conducteurs vieillissants. En 2017, parmi tous les titulaires de permis de conduire de cette province, 40 % étaient des personnes de 55 ans et plus, soit un peu plus

⁶ Récupéré sur le site internet le 13 janvier 2019 : <https://www.interaction-design.org/literature/topics/human-computer-interaction>

de deux millions de personnes⁷. Cette catégorie de la population est également touchée par des accidents de la route. Bien souvent, les accidents des conducteurs vieillissants sont fatals. En effet, trente et un pour cent (31 %) des décès mortels concernent des personnes de 55 ans et plus au Québec⁸. Et ce chiffre augmentera dans les prochaines années selon les sources démographiques (OMS, 2018; Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), 2018).

Pour sécuriser la conduite automobile des conducteurs vieillissants, une des mesures que les sociétés peuvent mettre en œuvre rapidement est l'utilisation de systèmes d'aide à la conduite (Reimer, 2014). L'apport de ces systèmes est d'assister le conducteur en évaluant soit son état général, soit l'état de son véhicule, soit le contexte de conduite ou les trois réunis. Ces systèmes peuvent aider les conducteurs à pratiquer leur activité de conduite automobile en palliant les diminutions liées au vieillissement. Bien que ces conducteurs aient une grande expérience de conduite, leurs diminutions liées à l'avancée en âge peuvent les contraindre dans leur tâche de conduite d'un véhicule et provoquer des erreurs ou des collisions mortelles. Les systèmes d'aide à la conduite sont donc une solution pour supporter les personnes vieillissantes pour maintenir leur mobilité et leur indépendance permettant de réduire leurs erreurs de conduite (Duncan et al., 2015; Rakotonirainy & Steinhardt, 2009).

⁷ Récupéré sur le site web le 13 janvier 2019: [http://www.bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken213_afich_tabl.page_tabl?p_iden_tran=REPERZPDCX F53-42519833746F2E\[3&p_lang=1&p_m_o=SAAQ&p_id_raprt=3370](http://www.bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken213_afich_tabl.page_tabl?p_iden_tran=REPERZPDCX F53-42519833746F2E[3&p_lang=1&p_m_o=SAAQ&p_id_raprt=3370)

⁸ Récupéré sur le site internet le 13 janvier 2019 : [http://www.bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken213_afich_tabl.page_tabl?p_iden_tran=REPER80PJN N49-208344568622\)g^I&p_lang=1&p_m_o=SAAQ&p_id_ss_domn=718&p_id_raprt=3369](http://www.bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken213_afich_tabl.page_tabl?p_iden_tran=REPER80PJN N49-208344568622)g^I&p_lang=1&p_m_o=SAAQ&p_id_ss_domn=718&p_id_raprt=3369)

Les recherches scientifiques actuelles nous indiquent que peu de systèmes d'aide à la conduite ont été développés pour les conducteurs vieillissants. Bien souvent, le système est conçu pour tous les conducteurs, peu importe leur tranche d'âge et la spécificité de leur conduite (Shakshuki, Alghamdi, & Sheltami, 2013). Aussi, peu de recherches ont été faites sur le niveau d'acceptabilité de ces systèmes par les conducteurs vieillissants. Alors qu'avec l'évolution perpétuelle des technologies informatiques, le degré d'acceptabilité et l'adaptation comportementale du conducteur doivent être pris en compte dans le développement de ces systèmes (Simões & Pereira, 2009). Dans l'ensemble, on peut constater le manque d'informations pour évaluer l'efficacité des systèmes d'aide à la conduite. En outre, l'acquisition de données relatives à la conception et à l'efficacité des systèmes d'aide à la conduite de manière expérimentale est importante. Cette acquisition permet notamment de déterminer et de valider si un système d'aide à la conduite est adapté aux conducteurs vieillissants (Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). Au regard de ces informations, l'idée de développer un système d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants semble pertinente si on recueille des informations les concernant et que l'on conçoit une évaluation expérimentale pour confirmer l'acceptabilité du système par ce groupe de conducteurs.

Enfin, il faut considérer que le système d'aide à la conduite s'ajoute à la tâche de conduite. On peut le qualifier d'élément supplémentaire. Il faut donc veiller à ce qu'il ne gêne pas le conducteur en le distrayant dans sa tâche. Ce constat est d'autant plus vrai concernant les conducteurs âgés. Bien que ces derniers aient une grande expérience de conduite et aient des diminutions liées au vieillissement, ils peuvent être plus sensibles à la distraction lors d'une double tâche (Lemercier & Cellier, 2008). Les interfaces humain-machine ont très peu changé dans l'histoire de l'automobile, mais elles sont sur le point de se transformer de manière significative avec l'arrivée des véhicules autonomes (Reimer, 2014). Il

s'agit donc de réfléchir aux risques associés à la distraction avec ces nouveaux systèmes. Pour ce faire, la mesure de la charge mentale est une méthode utilisée pour évaluer le degré de sollicitation cognitive du conducteur (Son et al., 2011).

Pour contribuer à la compréhension de cette problématique, notre recherche a pour but l'analyse des conducteurs vieillissants, le développement d'un système d'aide à la conduite approprié pour eux et l'évaluation de ce système avec une mise en situation en conditions réelles. L'évaluation permettra de juger de l'efficacité du système, de l'impact sur la distraction au volant grâce à la mesure de la charge mentale générée et son niveau d'acceptabilité par des conducteurs vieillissants québécois.

0.3.2 Les questions de recherche

Les questions de recherche qui émanent de notre problématique sont :

1. Quels sont les facteurs à considérer lors du développement d'un système d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants ?
2. À partir des facteurs identifiés, quel système d'aide à la conduite est-il possible de leur offrir pour encourager une conduite plus sécuritaire et à long terme ?
3. La combinaison de mesures objectives et subjectives permet-elle de valider l'acceptabilité du système et l'adaptation comportementale des conducteurs vieillissants québécois ?

0.3.3 La formulation d'hypothèses

Nos hypothèses de recherche sont :

1. Le développement d'un système d'aide à la conduite se fait par l'intégration des conducteurs vieillissants dès le début de la conception pour définir avec eux leurs besoins et leurs attentes du futur système.
2. Un système d'aide à la conduite est accepté lorsqu'il est développé avec les participants visés et lorsqu'il est conçu de manière ergonomique en aidant les conducteurs à partir d'informations pertinentes et persuasives.
3. Un système qui correspond aux besoins et aux attentes des conducteurs vieillissants n'augmente pas la charge mentale lors de la tâche de conduite.

0.3.4 Les objectifs de cette recherche

Concernant nos objectifs, nous allons séparer les objectifs généraux et les sous-objectifs de cette recherche.

Le premier objectif est de définir les attentes et les besoins des conducteurs vieillissants pour développer un système pour cette catégorie de conducteurs. Celui-ci sera réalisé grâce aux sous-objectifs suivants :

- Identifier les craintes lors de la conduite automobile, évaluer le degré d'utilisation et la qualité perçue des expériences avec les systèmes d'aide à la conduite actuels pour cette catégorie de conducteur.
- Sonder les conducteurs vieillissants par rapport à leurs besoins en ce qui concerne les interfaces pour un système d'aide à la conduite.

Le second objectif est de concevoir un système d'aide à la conduite et de le valider avec les utilisateurs visés afin de favoriser une conduite sécuritaire. Celui-ci sera réalisé grâce aux sous-objectifs suivants :

- Concevoir un prototype de système d'aide à la conduite comprenant une série d'interfaces en tenant compte tant des caractéristiques que des besoins et des attentes des conducteurs vieillissants, des données obtenues grâce à l'atteinte du premier objectif, ainsi qu'en se basant sur la définition des critères ergonomiques en vue d'évaluer un prototype.
- Produire un prototype intégrant les interfaces identifiées comme pertinentes pour la population visée.
- Valider notre prototype en condition réelle et en mesurant la charge mentale induite, l'ergonomie et la persuasion du système.

0.3.5 Les contributions de la thèse

Les contributions de cette thèse sont d'abord scientifiques. Cette recherche doctorale a pour originalité d'être intersectorielle et de s'appuyer sur des connaissances de plusieurs disciplines (informatique, ergonomie, psychologie). Ainsi, nous apportons de nouvelles connaissances théoriques concernant les conducteurs vieillissants québécois dans le domaine de la conduite automobile ayant des caractéristiques psychosociales et cognitives spécifiques. Ces apports scientifiques concernent en premier lieu les sciences cognitives, plus précisément la psychologie cognitive, avec de nouvelles données concernant la charge mentale des conducteurs vieillissants et l'utilisation d'un système. Les apports scientifiques touchent également l'informatique ergonomique puisque cette catégorie de conducteurs a des besoins particuliers et leurs interactions avec les systèmes exigent une forme d'adaptation. Le premier apport touche ainsi la conception d'interfaces avec des pictogrammes et couleurs spécifiques pour cette catégorie de conducteurs. Et pour pouvoir créer ces interfaces, le second apport concerne l'utilisation de la méthode de conception centrée utilisateur dans le domaine de la sécurité routière. En second lieu, cette recherche doctorale apporte

des informations pratiques qui peuvent être appliquées à l'industrie automobile québécoise. Les résultats attendus vont permettre de développer des systèmes d'aide à la conduite qui pourront être déployés sur le marché et proposés aux personnes vieillissantes.

0.4 Organisation de la thèse

Cette thèse est organisée en quatre chapitres après cette introduction. Le premier porte sur le contexte théorique relativement aux conducteurs vieillissants, les systèmes d'aide à la conduite pour les personnes vieillissantes et l'apport de l'ergonomie dans la conception des interfaces humain-machine du domaine automobile. Le second chapitre présente la première étude de la thèse axée sur les besoins et les caractéristiques des conducteurs vieillissants, tandis que le troisième chapitre décrit la seconde étude dont l'objectif est de valider le prototype développé avec cette catégorie de conducteurs. Enfin, dans le quatrième et dernier chapitre, nous concluons ce projet de recherche en précisant les limites, les perspectives de recherche et les contributions.

CHAPITRE I

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux modèles justifiant la conduite automobile (1.1), les caractéristiques des personnes vieillissantes (1.2), les systèmes d'aide à la conduite (1.3) et le développement d'interfaces humain-machine pour ces systèmes (1.4).

Cette thèse étant en informatique cognitive et impliquant des théories et méthodologies issues de disciplines de différents secteurs, la figure 1 représente le cadre conceptuel du projet.

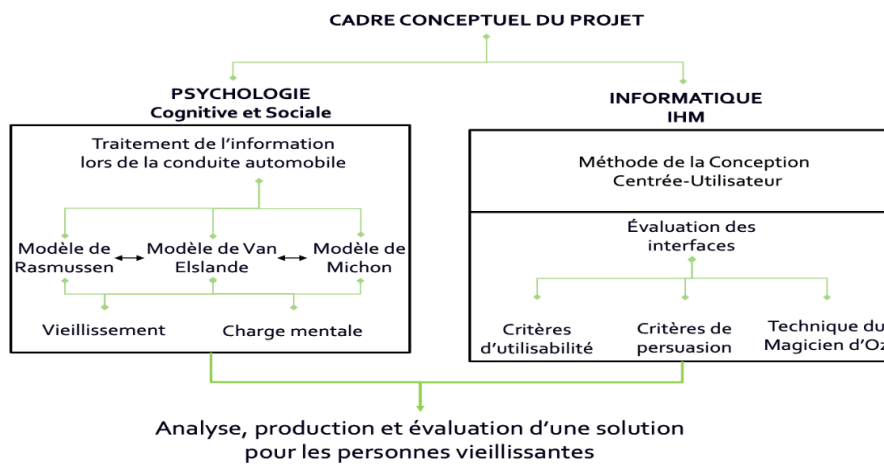


Figure 1 - Cadre conceptuel de la recherche

Ce cadre conceptuel constitue une approche théorique et méthodologique de notre recherche avec les modèles et méthodes retenus.

1.1 La conduite automobile et le conducteur

1.1.1 Caractéristiques générales de la conduite automobile

Plusieurs milliers de personnes conduisent chaque jour au Québec. En 2017, ce sont plus de 5 millions de personnes qui détenaient le permis de conduire⁹, ce qui représente 65 % de la population totale québécoise¹⁰. Quand on parle d'activité de conduite, on entend une activité qui se déroule en situation dynamique avec des interactions et des risques. Une définition de la conduite automobile est le déplacement d'un véhicule routier motorisé dans un environnement (Neboit, 1980). Sachant que cet environnement est en perpétuel changement, il n'existe pas une situation similaire à une autre, puisque les paramètres de la situation de conduite sont toujours différents. Par exemple, un trajet sera divergent selon l'état émotionnel du conducteur, selon l'état du trafic routier, ou selon les conditions météorologiques. On observe donc une grande variabilité dans les paramètres de la conduite automobile. Il existe un nombre infini de situations de conduite qui nécessite une certaine flexibilité du conducteur.

⁹ Les personnes détentrices d'un permis de conduire sont 5 414 479. Données récupérées du site internet le 13 janvier 2019 :

http://www.bdso.gouv.q.ca/pls/ken/ken213_afich_tabl.page_tabl?p_iden_tran=REPERPH9BT841185144773339/W,16&p_lang=1&p_m_o=SAAQ&p_id_ss_domn=718&p_id_raprt=3370

¹⁰ La population du Québec est estimée à 8 351 700 personnes au 1^e janvier 2017 (p. 9). Récupéré du site web le 13 janvier 2019 : <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/bilan2017.pdf>

Au Québec, il est possible d'avoir son permis de conduire à partir de 16 ans¹¹. Pour permettre une harmonisation entre les conducteurs, l'activité de conduite est réglementée par le Code de la sécurité routière québécois. Celui-ci est composé de règles permettant d'éviter des obstacles ou des collisions lors d'un déplacement. Ces règles sont explicites ou implicites (Neboit, 1980). Les règles explicites sont apprises à l'école de conduite. Elles sont évaluées de manière théorique (24 heures au Québec) et pratique (15 heures sur route avec un moniteur)¹² permettant d'obtenir le permis de conduire. À propos des règles implicites, elles s'apprennent au fur et à mesure de la pratique de la conduite. On parle aussi de règles dites d'usage, puisque chaque conducteur développe ses propres règles selon ses expériences de conduite vécues. S'il y a un non-respect du Code de la sécurité routière, des sanctions s'appliquent au conducteur.

Chaque conducteur est en interaction avec son véhicule ainsi qu'avec l'ensemble des autres conducteurs dans l'environnement routier. La conduite automobile exige le contrôle et la maîtrise de son propre véhicule. Il y a également un ajustement continu à faire dans l'environnement de conduite, notamment parce que la communication entre les conducteurs est quasi inexistante.

Les auteurs Munduteguy et Darses indiquent que pour une situation donnée, les usagers ne partagent pas les mêmes représentations de cette situation (Munduteguy & Darses, 2007). Comme il existe beaucoup de paramètres, le conducteur doit faire preuve d'adaptabilité dans chacune des situations de conduite qu'il rencontre. Ces situations dépendent entre autres des interactions qui peuvent avoir lieu avec les autres conducteurs. Ainsi, chaque conducteur a

¹¹ Informations sur l'admissibilité au permis de conduire récupéré du site web le 13 janvier 2019 : <https://saaq.gouv.qc.ca/permis-de-conduire/obtenir-permis/auto-classe-5/>

ses propres représentations des comportements typiques lors de la conduite. Ces représentations varient selon les caractéristiques des conducteurs (le genre, la tranche d'âge, etc.) ou de la diversité des véhicules (type de véhicule, grandeur, etc.) ou encore de la diversité de l'environnement de conduite (type de route, trafic, etc.). Un exemple de ces représentations serait le conducteur qui associe, les personnes âgées à une conduite plus lente.

L'adaptabilité dépend aussi de la temporalité. Une situation de conduite implique un ensemble de paramètres qui doit être géré dans un laps de temps plus ou moins court. C'est le cas lors du dépassement d'un autre véhicule sur une voie à double sens qui nécessite d'agir vite lorsqu'un autre véhicule arrive en face. Le conducteur doit donc faire preuve de flexibilité de façon continue à des situations qui évoluent sans cesse. L'activité de conduite comporte des risques notamment en raison de l'environnement qui est en évolution constante dans le temps et dans l'espace. La conduite automobile demande d'identifier plusieurs informations, de les interpréter et d'anticiper les actions des autres conducteurs. Ce qui procure à l'activité de conduite un caractère complexe et incertain. La complexité réside également dans le fait que des milliers de conducteurs interagissent dans une situation donnée et dépend de l'ensemble des informations dont le conducteur dispose (Van Elslande, 1992). Le conducteur doit faire des choix pour anticiper l'évolution de la situation, en adoptant telle action plutôt qu'une autre, et en assumant les conséquences qui en découlent. Puisque les représentations d'une situation sont très différentes entre chaque personne, cela peut mener à des incertitudes et augmenter la probabilité de collisions.

Au Québec, en 2016, ce sont environ 22 000 occupants d'une automobile ou d'un camion léger qui ont été victimes d'accidents de la route, soit 59 % de l'ensemble

des victimes toutes catégories d'usagers confondues¹². L'humain est bien souvent le facteur de ces collisions. Les accidents de la route liés aux facteurs humains représenteraient 90 % des accidents. On retrouve cependant un équilibre qui se fait entre sous-ensembles d'usagers permettant de réguler les comportements inadaptés des autres usagers. Cela se justifie par la collaboration entre utilisateurs par courtoisie (exemple : s'arrêter pour laisser passer un véhicule) ou par contrainte (exemple : s'arrêter derrière quelqu'un qui se stationne en marche arrière) (Paris, 2014).

Pour résumer, l'activité de conduite est une activité complexe très répandue. Il faut donc une réglementation de cette pratique avec des sanctions s'il y a des écarts à cette réglementation. Cela se justifie par le fait que beaucoup de personnes conduisent quotidiennement. C'est une activité qui implique des interactions avec d'autres usagers dans des environnements changeants provoquant des risques et qui nécessite une certaine flexibilité de la part d'un individu.

1.1.2 Une activité multiniveaux pour le conducteur

L'activité de conduite implique une succession de comportements à différents niveaux. Ces différents niveaux évoluent, selon l'environnement de conduite, selon la variabilité des tâches à réaliser, selon la fréquence de conduite ou selon la connaissance de l'environnement. Il existe différentes phases et sous-tâches essentiellement cognitives et sensori-motrices relatives au conducteur.

¹² Données issues du bilan routier 2016 (p. 17), récupéré du site web le 13 janvier 2019 : http://www.bdso.gouv.qc.ca/docs-ken/multimedia/PB05300FR_BilanStatistique2016A00F00.pdf

Plusieurs modèles (Rasmussen (1.1.2.1), Michon (1.1.2.2)) ont été proposés pour décrire les comportements de l'activité de conduite.

1.1.2.1 Le modèle de Rasmussen

Après l'accident de Three Miles Island en 1979 aux États-Unis, Rasmussen s'est penché sur la gestion du risque et les processus dynamiques dans le contexte industriel, et plus spécifiquement pour le contexte nucléaire. L'auteur définit un processus dynamique comme une suite d'actions qui évolue de manière continue et qui n'a pas besoin de prise en charge humaine. L'opérateur humain doit superviser le processus et détecter tout problème. Dans les années 1980, l'auteur Rasmussen proposa une hiérarchie des niveaux d'activité humaine impliqués lors du contrôle des processus dynamiques (Rasmussen, 1983).

Ce modèle Skill-Knowledge-Rule (SRK) s'intéresse au processus dynamique de l'adaptation à la situation. Ce modèle est un traitement séquentiel de l'information entre la perception et l'exécution d'une action. L'opérateur humain est vu comme un acteur qui agit à partir de buts identifiés par des informations sensorielles. En fonction des connaissances de l'utilisateur, trois modes de contrôle sont possibles. Le premier est basé sur les habiletés (Skill-based Behaviour), le second sur les règles (Rule-based Behaviour) et le dernier sur les connaissances (Knowledge-based Behaviour). L'ordre des modes sera du moins coûteux en ressources attentionnelles avec un niveau de contrôle automatique, à un mode plus coûteux en ressources attentionnelles et un niveau de contrôle conscient (Figure 2).

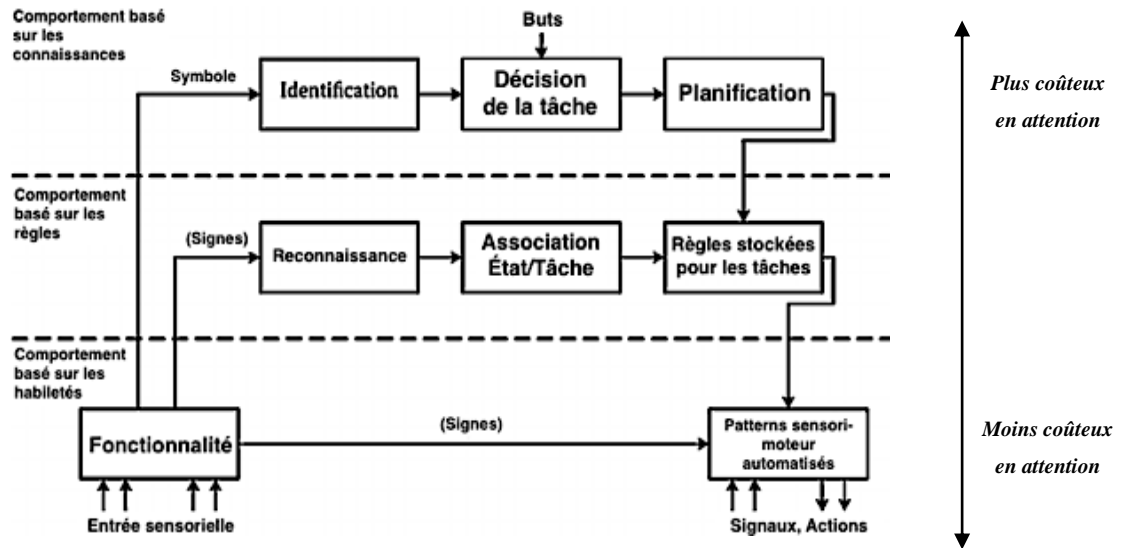


Figure 2 - Modèle SRK proposé par Rasmussen (1983, notre traduction)

Les habiletés (Skill-based Behaviour) sont en bas de la hiérarchie. Il s'agit de comportements dont les actions ont été effectuées de manière quasi automatique après un apprentissage pouvant être long. Le coût cognitif est faible. Une fois intégrées, les habiletés permettent de faire appel à ces actions à partir d'un minimum de ressources mises en œuvre.

Les règles (Rule-based Behaviour) sont au milieu de la hiérarchie. Le fonctionnement de ce mode correspond à la mise en œuvre de procédures apprises par l'Homme pour définir son action. À partir de ses perceptions, l'Homme reconnaît une situation et sélectionne la règle appropriée à l'environnement avant d'entreprendre des actions.

Les connaissances (Knowledge-based Behaviour) sont en haut de la hiérarchie. Elles font référence aux connaissances déclaratives pour prendre une décision et mettre en œuvre une action. Elles nécessitent beaucoup de ressources et de temps et impliquent un coût cognitif élevé de la part de l'individu. Ce qui permet d'élaborer des solutions nouvelles et pertinentes.

Rasmussen a précisé que ces trois niveaux ne sont pas alternatifs les uns aux autres, mais interagissent de manière simple entre eux. Enfin, une limite de ce modèle est qu'il n'indique pas le temps entre chaque étape du modèle.

Il existe un lien entre la conduite automobile et le modèle de Rasmussen. En effet, la conduite automobile et la supervision de processus dynamiques sont deux activités proches. C'est le chercheur Van Elslande qui a proposé une adaptation du modèle SRK à l'activité de conduite automobile. Son objectif a été d'adapter le modèle initial de Rasmussen pour modéliser les erreurs qui peuvent être impliquées dans les accidents routiers. Van Elslande présente l'activité de conduite en une série d'étapes successives en intégrant l'analyse de la situation et la planification de l'action (Van Elslande, 2000) (Figure 3).

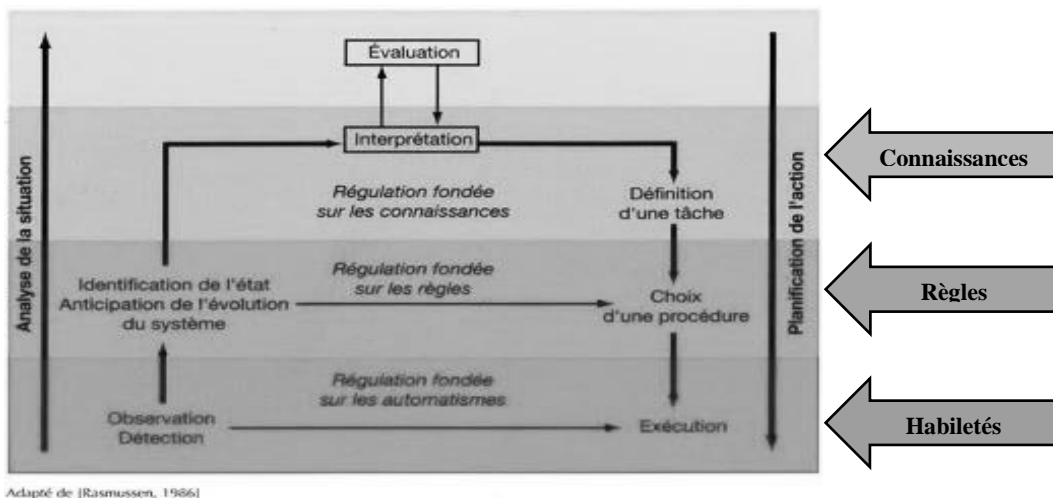


Figure 3 - Diagramme simplifié du modèle SRK de Rasmussen adapté à la conduite automobile (Van Elslande, 2000, p.15)

Si on illustre les trois niveaux pour la conduite automobile, le niveau des habiletés concerne les activités de guidage, comme le contrôle de la vitesse ou de la trajectoire effectuée de façon routinière. Le niveau des règles dépend des

caractéristiques et des connaissances antérieures du conducteur. Elles permettent de définir le choix à faire, par exemple dépasser un véhicule selon l'aménagement de la voie ou la vitesse du véhicule à doubler. Enfin, le niveau des connaissances est nécessaire en conduite automobile pour permettre une adaptation rapide de l'itinéraire par rapport aux situations imprévues (accident de la route, les travaux, etc.).

L'auteur Paris ajoute que le modèle de Rasmussen permet d'illustrer qu'un conducteur doit réaliser un nombre important de traitements cognitifs quand il perçoit un objet dans son environnement, dépendamment de la situation dans laquelle il est, de sa propre expérience de conduite et du but de son activité (Paris, 2014)

En résumé, le modèle de Rasmussen permet d'illustrer les niveaux au plan cognitif que requiert une activité à travers ses coûts attentionnels. C'est un modèle qui s'applique à l'activité de conduite automobile, puisque le conducteur doit traiter plusieurs informations dans un temps donné. Cependant, le modèle SRK adapté à la conduite n'utilise pas la notion de temporalité comme le fait le modèle de Michon.

1.1.2.2 Le modèle de Michon

L'auteur Michon a développé un modèle pour l'analyse du comportement de conduite d'une personne (Michon, 1979, 1985). Pour créer son modèle, l'auteur s'est inspiré du système organisationnel militaire. Celui-ci présente quatre niveaux : politique, stratégique, tactique et opérationnel. Et ces niveaux permettent de créer un système de décomposition pour la conduite automobile. L'auteur propose trois niveaux de contrôle : le niveau stratégique, le niveau tactique et le niveau opérationnel, qui permettent d'intégrer le point de vue cognitif et la notion de temporalité (Figure 4).

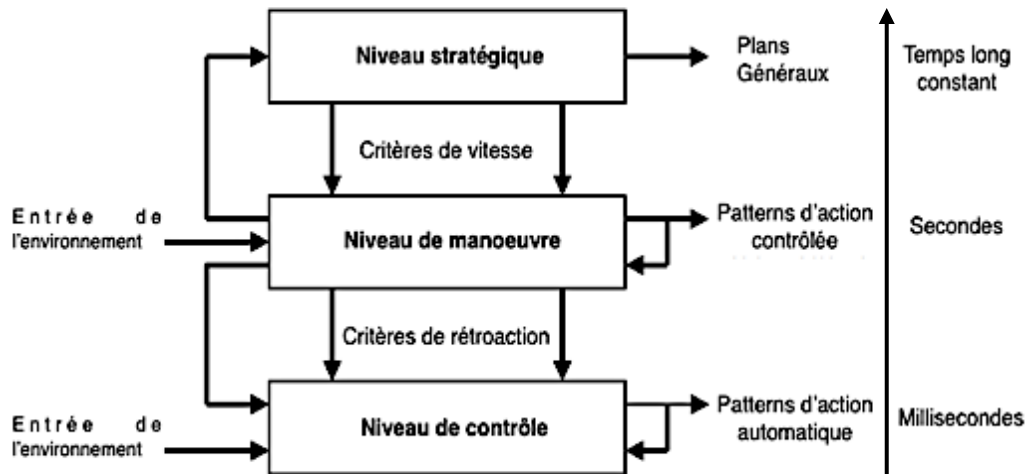


Figure 4 - Modèle de Michon (1985, notre traduction)

Le premier niveau, le niveau stratégique se définit comme l'étape de planification d'un voyage, en incluant l'organisation des conditions de conduite sur le plan qualitatif (type de route, moment de la journée) et quantitatif (durée, kilométrages, etc.) pour réaliser le voyage. De plus, il y a une évaluation des coûts et des risques potentiels dans le choix de l'itinéraire. Souvent, les considérations à ce niveau resteront plus ou moins implicites, guidées par des règles grossières basées sur l'expérience antérieure. Le voyage habituel de la maison au travail est habituellement traité de cette manière.

Par la suite, au cours du voyage, il va y avoir des prises de décision à faire pour réaliser une manoeuvre selon la situation routière. Cela est contrôlé par le second niveau : le niveau tactique. L'accélération et le ralentissement sont des actions qui doivent correspondre avec le choix des conditions du voyage. Ces prises de décisions doivent aussi prendre en compte l'environnement de conduite et ses contraintes locales (exemples : si un piéton traverse, s'il y a du trafic, etc.).

Enfin, le troisième et dernier niveau est le niveau opérationnel. Ce dernier intervient lorsque le danger est imminent et que le conducteur doit agir dans l'instant. Le niveau de risque est déterminé selon les habiletés de conduite (capacités à contrôler le véhicule et capacités visuoperceptives) et la vivacité des capacités de traitement de l'information, sensorielles et motrices. Ici, les compétences de base, tels la direction ou le freinage, entrent directement en jeu.

L'intérêt de ce modèle est que, selon Michon, il n'existait pas de modèle avant le sien qui traitait à la fois de l'aspect cognitif et de la conduite automobile. Ce modèle permet également d'expliquer, lorsqu'un danger se manifeste, comment le conducteur peut éviter un accident potentiel en trouvant la manœuvre adéquate.

En outre, Michon ajoute dans son modèle la notion de temporalité. Il justifie qu'il y a un impact des facteurs temporels sur la conduite (Michon, 1979). Selon lui, les rythmes biologiques (appelés aussi rythmes circadiens) ont un effet sur le comportement de conduite dépendamment du moment de la journée. Il donne l'exemple de la prise d'un médicament le matin ou le soir qui ne va pas avoir le même impact sur la conduite automobile. Ou encore, celui d'une personne qui conduit huit heures de suite et qui risque de développer un comportement de conduite plus dangereux qu'une personne qui a conduit trente minutes. Ainsi, Michon soutient qu'il faut porter une attention particulière à l'intégration de cette notion de temporalité sur les comportements de conduite. Ce modèle ne prend pas seulement en compte les différents niveaux, il décrit le flux d'informations qui permet au conducteur de passer d'un niveau à l'autre dans le temps (Michon, 1985).

Ainsi, le modèle de Michon illustre à travers les trois niveaux, comment se produisent les traitements cognitifs du conducteur en y ajoutant la temporalité. Il s'agit du premier modèle à intégrer l'aspect cognitif dans le cadre de la conduite

automobile ainsi que la notion de temporalité sur les comportements des conducteurs.

Pour faire la synthèse de cette section, les modèles présentés sont les deux principaux modèles qui analysent l'activité de conduite d'un point de vue comportemental. Il est important de bien comprendre comment se déroule cette activité pour pouvoir mieux comprendre le comportement qu'adoptera le conducteur.

1.1.3 L'implication du conducteur

L'activité de conduite demande au conducteur de se focaliser sur plusieurs tâches à réaliser simultanément. Ces tâches sont le contrôle du véhicule (ajuster la vitesse du véhicule, ajuster la trajectoire), la gestion des interactions avec les autres conducteurs (interagir en situation par des manœuvres) et la navigation (planifier et se repérer en situation de conduite). D'autres tâches peuvent s'ajouter comme la gestion d'état du véhicule (vérifier la vitesse, vérifier l'essence, etc.) ou les interactions de confort (ajuster la ventilation, augmenter le son de l'autoradio, communiquer avec le(s) passager(s)) (Forzy, 2004). Ces différentes tâches sont très coûteuses pour le conducteur, car elles affectent ses modalités sensorielles (1.1.3.1) et leur charge mentale (1.1.3.2).

1.1.3.1 Les modalités sensorielles du conducteur

Les modalités sensorielles ont une place prépondérante dans la conduite automobile. Les modalités visuelle, auditive, haptique et vestibulaire peuvent être utilisées pour transmettre des informations aux conducteurs. Nous allons les présenter successivement.

Tout d'abord, la vision est une modalité sensorielle sollicitée continuellement dans notre vie quotidienne. Il existe deux grands types de vision : la vision

centrale et la vision périphérique. La vision centrale permet de discriminer finement les éléments dans un angle visuel limité. Tandis que la vision périphérique est moins fine, mais est plus sensible aux mouvements. Ces deux types de vision sont complémentaires et permettent une meilleure perception visuelle. Lors de la conduite, la vision est déterminante et c'est grâce à elle qu'il est possible de guider le véhicule (Summala, Nieminen, & Punto, 1996). Il est important de ne pas surcharger le canal visuel avec d'autres informations sensorielles, ce canal ayant déjà à traiter un très grand nombre d'informations. Il faut donc éviter d'ajouter des informations qui pourraient créer une concurrence de traitement. Le canal auditif est un exemple de canal qui fournit des informations complémentaires au canal visuel, ce qui permet d'utiliser ces deux canaux sans créer de concurrence.

L'audition est la deuxième modalité sensorielle mise à contribution pendant la conduite. Celle-ci permet au conducteur l'accès à des informations concernant l'état du véhicule ou de l'environnement de conduite au travers de bruits. Par exemple, le bruit change par rapport à la vitesse du véhicule, ou encore, dans certains véhicules, un bruit est émis si la ceinture de sécurité n'est pas attachée. On parle également de bruit concernant l'état de la route. Par exemple, rouler sur du gravier ou sur l'asphalte produit un son différent. Ces bruits ont donc un rôle sécuritaire pour la conduite automobile.

Un autre type d'information qui peut être utile pendant la conduite est l'information haptique. Il s'agit de la combinaison des informations tactiles et kinesthésiques. L'utilisation de cette modalité est fréquente dès que le conducteur manipule les commandes de son véhicule. Par exemple son véhicule, comme le volant ainsi que le pédalier. Si on prend l'exemple de l'accélération, le conducteur qui décide d'aller plus vite va appuyer sur la pédale d'accélération. Il va recevoir des informations tactiles (contact pied – pédale) et des informations

kinesthésiques selon la force exercée par les muscles permettant un mouvement d'ajustement de la vitesse. Il y a donc un mouvement actif réalisé par le conducteur et qui sollicite sa perception haptique.

Enfin, la modalité vestibulaire est un organe sensoriel situé dans l'oreille interne. Le vestibule permet d'avoir une stabilisation du regard et de l'équilibre du corps. Cette modalité est composée de récepteurs otolithiques et de canaux semi-circulaires. Le premier permet de coder les accélérations linéaires horizontales et verticales liées aux déplacements, alors que le second permet de coder les accélérations angulaires. Lors de la conduite automobile, c'est l'appareil vestibulaire qui va informer lorsqu'il y a par exemple des accélérations du véhicule.

Il peut survenir une redondance sensorielle lorsque toutes les modalités ci-dessus sont sollicitées. Lors de la conduite automobile, c'est particulièrement le cas quand le conducteur doit traiter plusieurs informations simultanément. Si on analyse le cas d'un freinage à cause d'un ralentissement dans le trafic, la vision va permettre de percevoir les feux arrière rouges allumés et une réduction de la distance avec le véhicule devant, le bruit de freinage sera audible, les informations haptiques vont être d'actionner la pédale de frein et les informations vestibulaires seront la sensation de décélération dans le corps. Plusieurs recherches ont présenté des bénéfices lorsque les modalités sensorielles étaient combinées, notamment pour des dispositifs d'aide à la conduite. C'est le cas pour l'aide à la navigation embarquée. Grâce aux informations auditives reçues par le système, les informations visuelles sont disponibles et permettent aux conducteurs de passer plus de temps à regarder la route (Dingus, Hulse, McGehee, & Manakkal, 1994).

Ces modalités sensorielles sont généralement complétées par les fonctions cognitives du conducteur telles l'attention ou la mémoire.

1.1.3.2 La charge mentale lors de la conduite automobile

Lors de l'activité de conduite, chaque conducteur doit répondre rapidement aux risques, nécessitant une grande variété de capacités humaines (Rakotonirainy & Steinhardt, 2009).

Dans chaque situation il y a des événements qui sont imprévus et le traitement peut être plus ou moins facile selon le contexte de réalisation de la tâche. Le contexte est très important lors de la conduite et génère plus ou moins de la charge mentale. Parmi les facteurs contextuels, la condition météorologique peut affecter la charge mentale. Par exemple, la conduite sous une forte pluie peut être plus stressante que la conduite un jour ensoleillé. Un autre facteur d'influence est la période de la journée. La conduite à une heure de pointe amène la gestion de plusieurs éléments (par exemple, le trafic ou les autres conducteurs), que la conduite à une heure creuse où la route est déserte et il y a moins d'éléments à gérer (Schneegass, Pfleging, Broy, Heinrich, & Schmidt, 2013). De plus, il faut mesurer la charge mentale du conducteur quand il y a évaluation d'une interface d'un outil technologique, par exemple un système d'aide à la conduite, puisque cette charge mentale change constamment. La compréhension de la façon dont l'interface d'un système va affecter la charge cognitive du conducteur est essentielle lors de la conception du système pour optimiser l'expérience utilisateur et la sécurité du conducteur (Solovey, Zec, Garcia Perez, Reimer, & Mehler, 2014).

La charge mentale ne s'observe pas directement à l'œil nu. C'est pourquoi il existe plusieurs mesures pour la quantifier telles les mesures de performance

(1.1.3.2.1), mesures subjectives (1.1.3.2.2) ou objectives (1.1.3.2.3). Nous présentons aussi l'avantage de combiner ces mesures (1.1.3.2.4).

1.1.3.2.1 Les mesures de performance

La première mesure est celle de la performance. Celle-ci est quantitative et permet d'avoir un estimé des ressources cognitives sollicitées par un individu. La mesure de la performance se fait de manière indirecte à partir d'une analyse de double tâche. On parle également de tâche primaire et secondaire. La méthode de la double tâche consiste à demander à une personne de faire une première tâche (par exemple, regarder un écran), puis une seconde tâche (par exemple, répondre à des répétitions de mots) (Son et al., 2011). Dans la plupart des cas, une personne est capable de faire deux tâches à la fois. Par exemple, il peut être demandé de faire un calcul mathématique (tâche secondaire) lors de la conduite automobile (tâche primaire). L'examineur cherche alors à mesurer la présence d'erreurs pour quantifier le niveau de performance. Toutefois, plus on ajoute de tâches, plus l'individu se fatigue mentalement. Donc il faut porter une attention particulière sur le choix de la tâche proposée et sur son niveau de difficulté. Dans le contexte automobile, pour mesurer la performance avec la technique de double tâche, les tests sont réalisés en simulateur de conduite pour éviter tout risque **ou** d'accident qui pourrait survenir en condition réelle. Ce qui représente une première limite. La mesure de performance réalisée en conditions réelles pouvant entraîner une distraction du conducteur. La seconde limite est qu'on ne peut pas connaître les variations en temps réel de la charge cognitive. Chaque individu ayant une expertise, une motivation ou des émotions différentes. Enfin, une troisième limite est que chaque contexte est unique et peut modifier la tâche de conduite en cours et ainsi, faire varier la charge cognitive.

La mesure de la performance est proche d'une mesure subjective. Il est fortement recommandé de combiner cette mesure avec un autre type de mesure de la charge cognitive (Cegarra & Chevalier, 2008).

1.1.3.2.2 Les mesures subjectives

On peut mesurer la charge mentale d'un individu en lui demandant d'évaluer subjectivement son expérience. Cette mesure permet d'exploiter la charge mentale de façon simple et peu coûteuse, en laboratoire ou en condition réelle (Solovey et al., 2014; Son et al., 2011). Les outils pour la mesurer sont des échelles ou des questions pour évaluer un événement précis. Il existe deux types d'échelles : unidimensionnelle (liée à la tâche) et multidimensionnelle (liée à la situation). La différence entre ces deux échelles est que l'échelle unidimensionnelle va évaluer la charge mentale avec une échelle, tandis que l'échelle multidimensionnelle va mesurer à partir de plusieurs échelles pour déterminer un score global.

En ce qui concerne les échelles unidimensionnelles, on peut citer l'échelle de Cooper, puis sa version modifiée de Cooper-Harper, qui prend la forme de questions qui permettent d'étudier le nombre de sollicitations d'une personne. Par exemple, la notion de satisfaction, la maîtrise du système, etc. (Wierwille & Casali, 1983).

Parmi les échelles multidimensionnelles, la plus connue est l'échelle NASA Task Load Index (NASA-TLX) (Hart & Staveland, 1988). Celle-ci est la plus populaire et la plus utilisée pour la mesure de la charge mentale. Elle implique deux étapes. La première est la phase d'évaluation de six dimensions immédiatement après avoir exécuté la tâche. Ces dimensions sont présentées sous la forme d'échelle de Likert. Trois dimensions sont associées à la tâche (exigence mentale, exigence physique et exigence temporelle). Deux dimensions sont

associées aux stratégies (performance et efforts). Et une dimension est spécifique au participant (niveau de frustration). La seconde étape est la phase de comparaison deux par deux entre ces six dimensions. Par exemple, entre l'exigence mentale et la frustration. La personne doit indiquer, parmi ces deux dimensions, celle qui lui correspond le plus lors de la réalisation de la tâche. Après ces deux étapes, chaque dimension obtient un poids total pour le nombre de fois où elle a été citée dans la phase d'évaluation et la phase de comparaison. Ce poids total permet ainsi de mesurer la charge mentale subjective. Cette échelle a été initialement développée par l'armée américaine. Puis, en raison de sa simplicité et de son acceptation par les personnes utilisatrices, elle est régulièrement utilisée dans les recherches sur les facteurs humains dans différents domaines (aéronautique, santé, etc.). C'est le cas dans le domaine de la sécurité routière lors de l'évaluation de la charge cognitive qu'impliquent les systèmes d'aide à la conduite. Les limites identifiées relativement à l'utilisation de ces échelles subjectives sont, premièrement, un biais subjectif : on parle alors d'une évaluation arbitraire plutôt que d'une mesure quantifiable. Ensuite il existe un délai temporaire qui reflète plus la charge mentale perçue que réelle. Et enfin, c'est une mesure qui n'a pas de norme standard, c'est-à-dire que chaque individu va avoir une évaluation différente (Pauzié, 2014; Schneegass et al., 2013).

Il convient de mentionner que l'auteure Pauzié a proposé une alternative à l'échelle NASA-TLX pour la conduite automobile. Il s'agit de l'échelle DALI¹³ (Pauzié, 2008). Les facteurs ont été définis selon les dimensions spécifiques d'une tâche de conduite qui pourraient entraîner une charge cognitive. La principale limite de cette échelle est qu'elle va évaluer la charge mentale générée par le système étudié, mais le DALI ne va pas permettre d'évaluer la charge

¹³ DALI traduit de l'anglais *Driving Activity Load Index*

mentale lorsqu'on souhaite comparer l'activité de conduite si un conducteur évalue un système ou s'il n'en a pas (Lajus, 2011). L'échelle NASA-TLX apparaît donc plus appropriée pour notre étude. De plus, l'échelle NASA-TLX a l'avantage d'étudier les fines variations de la charge mentale (Cegarra & Morgado, 2009).

L'échelle NASA-TLX a été traduite en français par les chercheurs Cegarra et Morgado. Leur étude consistait à faire comparer à 28 participants bilingues l'échelle NASA-TLX dans sa version originale (Anglaise) et la version francophone. Leurs résultats confirment que la version francophone de l'échelle NASA-TLX conservait sa sensibilité pour mesurer la charge cognitive (Cegarra & Morgado, 2009).

1.1.3.2.3 Les mesures objectives

Une troisième mesure est la mesure objective sous la forme d'indices physiologiques tels les rythmes cardiaques, le diamètre pupillaire, la température cutanée, l'activité électrodermale, etc. Pour relever ces indices, des capteurs biométriques sont utilisés pour mesurer les réactions du corps reflétant la charge mentale du conducteur (Shi, Choi, Ruiz, Chen, & Taib, 2007).

L'étude de la charge mentale est récurrente dans le domaine de la sécurité routière. Plusieurs études ont été réalisées dans des simulateurs de conduite (Cantin, Lavallière, Simoneau, & Teasdale, 2009; Son et al., 2011). Des travaux de recherche antérieurs ont montré que les mesures physiologiques peuvent être collectées en temps réel et en conditions réelles de conduite et n'interfèrent pas avec la tâche principale de conduite. Ainsi, il est possible d'évaluer la charge mentale associée aux interfaces utilisateurs lors de l'activité de conduite (Schneegass et al., 2013; Solovey et al., 2014). L'avantage de la mesure objective

de la charge mentale est le caractère non intrusif qui permet de collecter un grand nombre de données en temps réel et de manière continue (Solovey et al., 2014).

Une étude a été menée en situation réelle pour mesurer la charge mentale grâce à l'activité électrodermale lors d'actions de freinage (Collet, Salvia, & Petit-Boulanger, 2014). L'activité électrodermale se définit comme une mesure de la conductivité de la peau humaine et fournit une indication des modifications du système nerveux sympathique humain. Lorsqu'une personne est plus ou moins stressée, l'activité électrodermale va respectivement augmenter ou diminuer. L'objectif des chercheurs Collet, Salvia et Petit-Boulanger a été de vérifier si de légères différences pourraient être discriminées par l'activité électrodermale lors de la conduite automobile dans le monde réel. Ils ont mené une étude avec trente-trois participants et cinq conditions de freinage : freinages contrôlés (50 à 30 km/h, de 80 à 50 km/h, de 50 à 0 km/h, de 80 à 0 km/h) et un freinage d'urgence non contrôlé (de 80 à 0 km/h). Les résultats ont démontré que les mesures de l'activité électrodermale peuvent être utilisées avec succès pour discriminer plusieurs niveaux de charge cognitive.

Il convient d'ajouter qu'il existe certaines limites lors de la collecte des mesures objectives de la charge mentale. Il s'agit d'avoir un participant nerveux lors de l'expérience, qui peut représenter un biais lors de la collecte des données (Schneegass et al., 2013). De plus, l'humidité dans l'air peut avoir un impact sur la collecte des données et donc sur la mesure de l'activité électrodermale (Bari, Aldosky, Tronstad, Kalvøy, & Martinsen, 2018).

1.1.3.2.4 La combinaison des mesures de la charge mentale (performance, objective, subjective)

Compte tenu de la nature sensible des mesures objectives de la charge mentale, il convient d'utiliser plusieurs mesures physiologiques pour avoir une meilleure

évaluation de la charge mentale ou encore de combiner la mesure objective avec la mesure subjective ou de performance (Schneegass et al., 2013).

Les auteurs Schneegass, Pfleging et Henrich ont voulu étudier quels facteurs influençaient la charge mentale en réalisant une étude avec dix participants sur cinq types de routes en condition réelle. Les données recueillies étaient la localisation GPS, la luminosité, l'accélération, les données physiologiques (battements cardiaques, la température cutanée et la conductivité de la peau) et l'évaluation de la charge mentale grâce à une analyse vidéo après la conduite. Les résultats ne concernaient que les données de l'activité électrodermale et de la température cutanée. Les résultats ont indiqué qu'il y a des différences significatives entre les données physiologiques et le type de route emprunté. La charge mentale serait plus élevée pour des zones à 30 km/h et plus faible lors de la conduite sur autoroute. Cela serait dû au fait qu'il y a plus d'éléments qui peuvent distraire dans ce type de zone (piétons, cyclistes, signalisations, voitures stationnées, etc.). De plus, l'activité électrodermale semble être la mesure la plus sensible pour estimer la charge mentale. Cette hypothèse a été confirmée grâce à une corrélation entre les données physiologiques et l'analyse vidéo faite après la conduite (Schneegass et al., 2013).

La charge mentale est aujourd'hui très utilisée pour étudier l'activité de conduite avec les autres tâches réalisées (par exemple, discuter avec un passager ou utiliser un système d'aide à la conduite). Les chercheurs en interactions humain-machine utilisent de plus en plus les données biométriques pour valider l'utilisabilité de systèmes technologiques (Collet et al., 2014). De plus, à notre connaissance, il n'y a pas d'étude réalisée qui compare les mesures objectives et subjectives de la charge mentale lors de l'utilisation d'un système d'aide à la conduite par des conducteurs vieillissants. Ce qui justifie un objectif de notre étude.

1.1.4 Résumé de fin de section

Dans cette section, nous avons constaté que l'activité de conduite automobile est une activité qui est complexe et qui est très répandue au Québec. Le conducteur est l'acteur principal. Dans son véhicule, celui-ci doit s'adapter à son environnement et être flexible pour éviter tout accident. Pour ce faire, le conducteur doit identifier, interpréter et anticiper les actions des autres usagers de la route. C'est donc une succession de comportements qui est réalisée, comme l'ont modélisé à leur tour Rasmussen et Michon. À ces comportements s'ajoutent les modalités sensorielles et cognitives. Ces dernières sont essentielles pour permettre au conducteur de contrôler son véhicule et faire face à n'importe quelle situation routière.

1.2 Les personnes vieillissantes

Dans quelques années, le nombre de personnes vieillissantes va augmenter dans la plupart des pays développés (1.2.1). Ces personnes sont touchées par le phénomène du vieillissement qui provoque des diminutions à différents niveaux (1.2.2). Cette catégorie de personnes a aussi une accidentologie particulière (1.2.3) et certains facteurs sont impliqués dans les accidents des personnes vieillissantes (1.2.4).

1.2.1 Enjeu sociétal

La plupart des pays développés, dont le Canada fait partie, sont concernés par le vieillissement de leur population. Parmi les provinces canadiennes, la proportion des personnes vieillissantes au Québec est une des plus élevées depuis 2010. Cette tendance démographique va continuer de s'intensifier jusqu'en 2050. Notamment parce que les personnes nées entre les années 1946 et 1966, appelées les *baby-boomers*, vont progressivement atteindre la catégorie des 65 ans et plus¹⁴. Par ailleurs, l'espérance de vie s'allonge et l'amélioration des soins de santé fait que les personnes vieillissantes sont de plus en plus nombreuses.

Il n'existe cependant pas de consensus dans la littérature sur l'âge seuil du vieillissement. Cela est dû à la grande hétérogénéité interindividuelle entre l'âge biologique (mesuré par les marqueurs de vieillissement) et l'âge chronologique (âge établi à partir de la date de naissance). Si des individus ont le même âge chronologique (par exemple, 65 ans), ils n'ont pas le même niveau dans leurs capacités fonctionnelles (Farage, Miller, Ajayi, & Hutchins, 2012). Dans notre recherche, nous nous sommes concentrés sur les personnes ayant un âge

¹⁴ Les premiers baby-boomers ont atteint l'âge de 65 ans en 2011.

chronologique de 60 ans puisque c'est l'âge de référence du vieillissement pour l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2018).

Les personnes vieillissantes sont fidèles à la conduite automobile. Concernant leur comportement au volant, les personnes vieillissantes ont des caractéristiques de conduite spécifiques. En raison d'une grande expérience de conduite permettant d'anticiper certaines situations rencontrées, cette catégorie de personnes est considérée comme prudente, roulant à basse vitesse et respectueuse du Code de la sécurité routière. Leur style de conduite est généralement à faible prise de risque, car elles ne recherchent pas de sensations fortes. De plus, ces personnes ne conduisent pas (ou peu) sous l'influence de l'alcool (Charlton et al., 2006; Davidse, 2006).

1.2.2 Activité de conduite pour ces personnes

La mobilité permet d'avoir un vieillissement actif, est reliée à l'état de santé et à une bonne qualité de vie (1.2.2.1). En effet, les recherches ont démontré que la cessation de conduite a un impact sur la santé des personnes vieillissantes (1.2.2.2).

1.2.2.1 La pratique de la conduite chez les personnes vieillissantes

La voiture reste un moyen privilégié par un grand nombre de personnes vieillissantes, parmi les autres modes de transports (Pochet, 2003). Surtout en région, la voiture est nécessaire pour leur permettre de maintenir un accès aux services, aux activités et aux personnes (Webber, Porter, & Menec, 2010). Être conducteur a un impact profond sur la santé et le bien-être des personnes (Owsley & McGwin, 2010). C'est notamment le cas lorsque les personnes vieillissantes prennent leur retraite, ce qui provoque des modifications dans leurs habitudes de vie : par exemple, il y a un changement dans leur rythme journalier avec les

activités sociales qui augmentent. Les déplacements des conducteurs vieillissants sont donc significativement différents de ceux du reste de la population. Cette catégorie de conducteurs voyage moins souvent, sur des distances plus courtes, à des moments différents de la journée et pour des raisons différentes de celles du reste de la population (Duncan et al., 2015).

Avec le changement des habitudes de vie et l'âge de la retraite à 65 ans au Québec, ce groupe de personnes souhaite conduire plus longtemps pour rester mobile (Webber et al., 2010). Toutefois, l'augmentation de cette catégorie de conducteurs n'est pas sans impact sur le système routier. Il faut veiller à leur bonne intégration en tant qu'usager de la route, que ça soit en tant que piéton, cycliste, mais aussi en tant que conducteur. C'est donc un objectif de taille pour les sociétés de s'intéresser à cette catégorie de conducteurs pour leur permettre de conduire de manière sécuritaire (Duncan et al., 2015; Reimer, 2014).

1.2.2.2 L'arrêt de la conduite et impact sur la santé des personnes vieillissantes

Certains auteurs proposent de retirer le permis sous certaines conditions afin de mieux gérer la sécurité des conducteurs vieillissants (Langford & Koppel, 2011), et ce, même si la recherche empirique a montré que la cessation de conduite a des conséquences négatives indésirables chez ces conducteurs (Webber et al., 2010). La cessation de la conduite est vécue comme une expérience stressante qui a un impact sur la qualité de vie. La perte de mobilité et d'indépendance augmente l'isolation sociale, la faible confiance en soi, la faible estime de soi, la perte d'identité et l'augmentation des symptômes dépressifs (Eby & Molnar, 2012; Owsley & McGwin, 2010; Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). De plus, cette cessation accélère le déclin de la santé en général (Edwards, Perkins, Ross, & Reynolds, 2009). Il existe un lien fort entre la mobilité et la santé des personnes. C'est pourquoi un certain nombre de recherches s'intéressent au maintien et

l'amélioration de la sécurité chez les conducteurs âgés afin qu'ils puissent conduire le plus longtemps possible (Dickerson et al., 2007; Webber et al., 2010).

Il faut mentionner que les femmes arrêtent souvent de conduire plus tôt que les hommes alors qu'elles sont encore capables de conduire (Siren, Hakamies-Blomqvist, & Lindeman, 2004). Lorsqu'elles sont mariées, elles conduisent moins fréquemment pour laisser leur conjoint le faire (Siren & Hakamies-Blomqvist, 2006). Mais lorsque leur conjoint décède, certaines femmes doivent reprendre la conduite à un moment où les diminutions dues au vieillissement s'accroissent rendant la conduite automobile plus difficile (Braitman & Williams, 2011).

1.2.3 Changements fonctionnels dus à l'avancée en âge

Le vieillissement normal provoque des changements fonctionnels dus à l'âge et affecte la conduite automobile. Dans la littérature, il n'y a pas de définition unique du vieillissement et de la vieillesse. Nous avons choisi la définition suivante. Le vieillissement normal signifie qu'un individu n'a ni de démence ni de pathologie qui affecte sa cognition (Bobillier Chaumon & Oprea Ciobanu, 2009). Mais il implique des diminutions liées à l'âge pour les capacités cognitives, motrices et sensorielles (Oxley et al., 2013; Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). Avec l'avancée en âge, quelques déficiences physiologiques apparaissent et ont des impacts négatifs sur les aptitudes de conduite (Oxley et al., 2013). Les déficiences peuvent être sur les plans cognitif, physique ou sensoriel. D'abord, les capacités cognitives sont affectées et amènent à un temps de réaction plus long, une diminution de l'attention, une mémoire plus courte, un traitement moins efficace des tâches de conduite à charge cognitive élevée et une plus grande sensibilité à la distraction (Anstey, Wood, Lord, & Walker, 2005; Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). Ces différentes déficiences sont présentées plus en détail dans la section suivante (1.2.4).

À cela s'ajoute la prise de médicaments pour certaines maladies qui provoque un risque plus élevé d'accidents de la route. En effet, les médicaments altèrent les compétences de conduite et réduisent les performances sensori-motrices comme une diminution de la vigilance ou des troubles de la vision (Eby & Molnar, 2012).

Les personnes vieillissantes ne sont pas un groupe homogène. Chaque personne vieillit d'une façon différente. Il existe d'autres types de vieillissement comme le vieillissement pathologique, réussi ou optimal. Le vieillissement est façonné selon les facteurs génétiques, sociodémographiques et environnementaux propres à chaque individu. Lors de recherches sur les personnes vieillissantes, il est important d'adopter une approche différentielle et individuelle (Bobillier Chaumon & Oprea Ciobanu, 2009; Fisk, Rogers, Charness, Czaja, & Sharit, 2009; Simões & Pereira, 2009).

Comme ces personnes souhaitent conduire le plus longtemps possible, il est nécessaire de les sensibiliser aux conséquences du vieillissement sur l'activité de conduite automobile. L'impact sur la conduite automobile sera différent selon que le vieillissement sera normal, réussi, optimal ou pathologique. Dans cette recherche, nous nous attarderons uniquement sur le vieillissement normal.

1.2.4 Types de diminutions liés au vieillissement normal

Les auteurs Farage, Miller, Ajayi et Hutchins définissent une personne âgée selon ses changements physiques et fonctionnels se produisant au cours du temps et non en fonction de son âge chronologique (Farage et al., 2012). En effet, les effets du vieillissement amènent à différentes diminutions dans le corps humain, principalement au plan sensoriel (1.2.4.1), au plan cognitif (1.2.4.2) et au plan physique (1.2.4.3) que nous allons présenter successivement. Ces diminutions sont néanmoins compensées par des effets positifs sur la conduite (1.2.4.4).

1.2.4.1 Diminutions sensorielles

Les diminutions sensorielles chez une personne âgée concernent entre autres sa vision, son audition et ses capacités vestibulaires. Dans le cadre de la conduite automobile, nous présentons les diminutions de la vision, de l'audition et de l'aspect vestibulaire qui ont des conséquences majeures sur la tâche de conduite d'un véhicule.

Tout d'abord, lors du vieillissement normal, certains troubles de la vision apparaissent et affectent la conduite (Owsley & McGwin, 2010), car la perception de l'environnement de conduite est primordiale pour la tâche de conduite. Des modifications apparaissent au niveau de la vision périphérique (le champ visuel, traduit de l'anglais *visual field view*), de la pupille, du cristallin ou encore des voies neuronales. Ces modifications réduisent l'acuité visuelle et la sensibilité au contraste et augmentent l'éblouissement chez les personnes âgées. Stalvey et Owsley ont étudié dans quelle mesure les conducteurs âgés ont conscience de leur déficience visuelle. Tous les participants de leur étude (ayant un âge compris entre 60 et 91 ans) avaient une déficience visuelle. Malgré leurs croyances, une grande partie n'a pas reconnu ses propres limites et l'impact sur leur conduite du véhicule. En effet, 91 % de l'échantillon étaient d'accord avec l'énoncé que l'œil change lors du vieillissement et affecte les aptitudes de conduite, 89 % croyaient être en mesure de constater le changement de leur vision, mais 70 % des personnes interrogées disaient avoir une vision excellente ou bonne (Stalvey & Owsley, 2000). Ce problème de sensibilité au contraste rend notamment la conduite de nuit beaucoup plus exigeante, voire impossible pour certaines personnes.

Ensuite, le vieillissement touche l'appareil auditif, appelé aussi cochléo-vestibulaire. Les diminutions de l'appareil auditif sont la perception du son, la reconnaissance de la voix, la fréquence du son, l'identification de la localisation

du son et l'attention auditive (Farage et al., 2012). La diminution de l'appareil auditif semble être un facteur de risque moindre que le déficit visuel pour la conduite automobile. En effet, les recherches empiriques n'ont pas montré de lien entre la diminution de l'audition et les risques d'accident (Anstey et al., 2005).

Enfin, il existe des diminutions dans les fonctions proprioceptives et le système vestibulaire. Le système vestibulaire, au travers de l'oreille interne, se détériore à partir de l'âge de 50 ans. Ce qui impacte directement l'équilibre de la personne. Les fonctions proprioceptives sont aussi affectées par le vieillissement. Notamment en termes de sensibilité de la pression, sensibilité thermique, mouvements et réflexes plus lents, flexibilité moindre, augmentation de l'arthrite et de tremblements, perte d'équilibre et de coordination du corps. C'est le cas par exemple au niveau du cou ou de la tête où l'on observe une diminution des mouvements des personnes vieillissantes (Farage et al., 2012). Pour la conduite automobile, les conducteurs vieillissants peuvent avoir plus de mal à tourner la tête et vérifier leurs angles morts.

Les conséquences de ces diminutions sensorielles doivent être considérées lorsqu'on étudie les conducteurs vieillissants. Cependant, ces diminutions sensorielles ne sont pas uniques. En effet, la conduite d'un véhicule est une tâche complexe qui nécessite également de bonnes capacités cognitives.

1.2.4.2 Diminutions des capacités cognitives

Comme indiqué, les capacités cognitives sont entre autres l'attention, la mémoire et les processus cognitifs de haut niveau. Elles sont nécessaires pour obtenir des informations de l'environnement de conduite et exécuter des tâches complexes lors de la conduite d'un véhicule.

Premièrement, l'attention contrôle le traitement des informations pertinentes et ignore celles qui sont non pertinentes dans l'environnement routier (Owsley & McGwin, 2010). Avec le vieillissement, les capacités d'attention sont réduites. Pour l'attention sélective, les personnes vieillissantes ont plus de difficultés à se concentrer et sont vite distraites par un nouvel événement qui réoriente leur attention. Pour l'attention partagée, il leur est difficile de faire plusieurs choses à la fois comme de s'assurer que le virage à gauche est permis, d'actionner le clignotant pour tourner à gauche et de s'assurer qu'il n'y a pas de véhicule dans l'autre sens. C'est le cas lorsque le conducteur vieillissant doit faire plusieurs actions en même temps. Il y a alors une diminution de la performance de conduite qui peut amener à des accidents (Lemerancier & Cellier, 2008).

Ensuite, une personne vieillissante peut avoir une diminution de ses capacités mnésiques. C'est à dire plus la personne est âgée, plus sa mémoire va décliner (Anstey et al., 2005). Les types de mémoires les plus sensibles à l'effet de l'âge sont la mémoire épisodique et la mémoire de travail (Giffard, Desgranges, & Eustache, 2001). La mémoire épisodique (ou autobiographique) permet de se souvenir d'informations personnelles acquises dans un contexte spatio-temporel précis (Clarys et al., 2007). Cette mémoire est touchée par le vieillissement. Il est plus difficile pour une personne âgée de réaliser des tâches de rappels libres (par ex. : où est stationnée votre voiture ?) plutôt que des rappels indicés (où, dans ce stationnement, est garée votre voiture ?). L'âge provoque des déficits de mémoire dans la saisie et la récupération d'informations (Clarys et al., 2007; Giffard et al., 2001). Ces personnes ont plus de difficultés quand il faut décider de tourner à une intersection, car c'est une situation dynamique nécessitant une mémoire de travail élevée (Anstey et al., 2005).

Concernant la mémoire, elle peut être surchargée avec les différents éléments à prendre en compte. Les conducteurs doivent être attentifs aux autres véhicules,

aux usagers vulnérables (piéton/cycliste) et aux panneaux de signalisation tout en contrôlant la vitesse et la direction de leur véhicule. Ces informations augmentent la charge mentale, ce qui est dangereux en particulier pour les personnes âgées et les personnes dont la reconnaissance et les réponses sont lentes (Pauzié, 2014). En outre, les personnes vieillissantes ont tendance à évaluer leur charge mentale subjective de façon plus élevée que les personnes plus jeunes. Cette augmentation de la perception de leur charge cognitive peut être considérée comme un reflet de leur fatigue, confirmant l'idée qu'un engagement accru de leurs ressources cognitives pour un niveau de performance spécifique a plus de conséquences pour eux et sur leur tâche de conduite réelle (Bunce & Sisa, 2002; Hess, 2014).

Enfin, les processus cognitifs de haut niveau permettent d'élaborer et de prendre une décision pendant la tâche de conduite. Bien souvent, les accidents dans lesquels sont impliquées les personnes vieillissantes sont des situations avec un trafic intense nécessitant un traitement cognitif rapide comme, par exemple, les priorités aux intersections (Anstey et al., 2005; Gruau, Pottier, Davenne, & Denise, 2003). La mise en place de nouvelles stratégies est plus difficile dans les situations nouvelles et le temps nécessaire pour prendre une décision est plus long chez les personnes âgées, surtout quand il y a une surcharge d'informations temporaire (Gruau et al., 2003).

1.2.4.3 Diminutions physiques

Les modifications liées au vieillissement montrent un affaiblissement des capacités physiologiques et cognitives, mais cela concerne également les capacités psychomotrices. Pour rappel, le fonctionnement psychomoteur est défini comme la capacité d'une personne à coordonner, contrôler et orienter les parties de son corps. Avec l'avancée en âge, plusieurs aspects du fonctionnement psychomoteur déclinent (Eby & Molnar, 2012).

Un premier aspect est la diminution de la vitesse d'exécution des mouvements. Le temps de réaction augmente et la vitesse de traitement ralentit chez les personnes vieillissantes à cause d'un ralentissement des fonctions cognitives, des raideurs articulaires et des faiblesses musculaires (Eby & Molnar, 2012). De plus, les personnes vieillissantes sont plus fragiles et vulnérables lors d'un accident routier. Elles ont plus de risques d'avoir des blessures graves. Ce qui explique leur taux de mortalité plus élevé dans les accidents de la route. À cet égard, des études comparant les victimes d'accidents mortels montrent que les conducteurs plus âgés sont souvent ceux qui décèdent (Dupont, Martensen, Papadimitriou, & Yannis, 2010). Le vieillissement provoque un affaiblissement des fonctions vitales, comme les fonctions respiratoire, circulatoire ou locomotrice, et des modifications de la force musculaire dans les organes et tissus du corps humain. Les conducteurs ayant entre 70 et 74 ans seraient deux fois plus à risque de mourir en cas d'accident par rapport aux conducteurs ayant entre 30 et 59 ans. Ce risque augmente cinq fois plus lorsque l'âge est de 80 ans (Li, Braver, & Chen, 2003).

Le second aspect concerne la flexibilité. Il s'agit du degré de souplesse des articulations ou des muscles. Différentes conditions sont à l'origine de la diminution de la flexibilité comme l'arthrite, le manque d'exercice physique ou une diminution du niveau d'activité globale (Eby & Molnar, 2012). Cette baisse de la flexibilité affecte la conduite d'un véhicule. Un conducteur âgé peut avoir des difficultés à changer rapidement son pied droit entre les pédales d'accélérateur ou de frein, pour manœuvrer le véhicule dans les virages ou pour éviter les obstacles sur la route (Staplin, Lococo, Martell, & Stutts, 2012). La baisse de la flexibilité touche également les rotations de la nuque, qui sont primordiales pour vérifier les miroirs ou les angles morts. Il y a une diminution dans l'amplitude de ces mouvements qui limite la prise d'informations dans l'environnement de conduite (Anstey et al., 2005; Eby & Molnar, 2012).

Le troisième aspect est la coordination des mouvements, qui est une capacité psychomotrice nécessaire à la conduite. Le vieillissement affecte la coordination en rendant difficile pour le conducteur la manipulation des commandes du véhicule et la réalisation efficace du contrôle du véhicule sur la voie (Eby & Molnar, 2012).

Enfin, le quatrième et dernier aspect est l'affaiblissement des fonctions vitales, comme les fonctions respiratoires, circulatoires ou locomotrices, et des modifications de la force musculaire dans les organes et tissus du corps humain. Le vieillissement diminue la force musculaire des personnes âgées jusqu'à 25 % (Eby & Molnar, 2012). Cette perte de force affecte la partie supérieure (exemple, les bras) ou inférieure (exemple, les jambes) du corps. Pour la partie supérieure, la perte de force touche la capacité du conducteur pour diriger le volant et donc son véhicule. La perte de force dans la partie inférieure du corps affecte la capacité d'appliquer une bonne pression de freinage et de ralentissement (Staplin et al., 2012). Cette perte de force provoque de la fatigue musculaire chez les conducteurs âgés pendant la conduite, même sur de courts trajets (Eby & Molnar, 2012).

Avec l'avancée en âge, il y a un risque d'accident plus élevé du fait de ces diminutions liées à l'avancée en âge (McGwin Jr, Sims, Pulley, & Roseman, 2000). Les personnes âgées ayant des handicaps physiques sont plus susceptibles de percevoir leurs déficiences et d'arrêter de conduire que celles ayant des troubles attentionnels, visuels ou de la mémoire. Ces dernières sont bien souvent peu conscientes de l'existence d'un tel déficit (Anstey et al., 2005; Gruau et al., 2003).

1.2.4.4 Les effets positifs de la conduite sur les personnes vieillissantes

Précédemment nous avons constaté un grand nombre d'effets négatifs sur la conduite automobile, mais il faut préciser que l'avancée en âge a aussi des effets positifs. D'abord, les personnes vieillissantes respectent de très près le Code de la sécurité routière et les règles associées. Les conducteurs vieillissants sont prudents et s'exposent à moins de prise de risque délibérée que les conducteurs jeunes. Ajoutons qu'une grande force leur vient de leur l'expérience de conduite acquise pendant de nombreuses années et qui peut être perçue comme un appui solide. Grâce à cette expérience de conduite et les connaissances acquises tout au long de leur vie, les personnes vieillissantes sont capables de prédire dans quelles situations de conduite elles feront le plus d'erreurs. C'est le cas pour la conduite de nuit ou la conduite avec de mauvaises conditions climatiques. Les personnes vieillissantes savent généralement comment s'adapter. Elles peuvent compenser leurs pratiques de conduite pour conserver une certaine sécurité. On parle d'autorégulation, définie comme une stratégie pour continuer à conduire de manière sécuritaire malgré des déclin fonctionnels (Anstey et al., 2005; Donorfio, Mohyde, Coughlin, & D'Ambrosio, 2008). Ces personnes vont, par exemple, augmenter les distances de sécurité avec le véhicule devant eux (Molnar et al., 2013). Les personnes vieillissantes vont ajuster leur déplacement, voir modifier leurs habitudes de conduite en diminuant le temps de trajet ou la distance. Certaines personnes vont jusqu'à se restreindre et éviter de prendre leur véhicule dans certaines conditions. C'est le cas à l'heure de pointe quand le trafic est dense (Stalvey & Owsley, 2000). La mise en place de ces stratégies d'adaptation et d'autorégulation dépend principalement d'une bonne connaissance de ses propres capacités.

1.2.5 Résumé de fin de section

Depuis 2010 et jusque 2050 environ, la démographie au Québec va changer pour laisser place à une plus grande proportion de personnes vieillissantes. Ces dernières apprécient la conduite automobile. Comme nous l'avons mentionné, chaque personne vieillit à sa manière selon des facteurs génétiques, sociodémographiques et environnementaux. Le vieillissement peut être différent (normal, pathologique, réussi ou optimal). De manière plus générale, les personnes vieillissantes sont touchées par des diminutions à la fois cognitives, sensorielles ou physiques. Toutefois, l'avancée en âge peut avoir des aspects positifs sur la conduite automobile, lorsque des compétences sont développées avec le temps. Il est donc primordial de s'intéresser à cette catégorie de personne pour préserver leur sécurité et celle des autres usagers de la route.

1.3 Les systèmes d'aide à la conduite

Lors de la conduite automobile, il y a un recueil d'informations provenant de l'environnement. Un conducteur n'a pas la possibilité de tout voir dans une situation de conduite. Pour aider le conducteur, il y a eu une évolution de la tâche de conduite automobile avec l'arrivée des systèmes d'aide à la conduite depuis les années 1980 (Pauzie, 2013). Ces systèmes interagissent avec le conducteur pour lui faciliter la tâche de conduite aux niveaux tactique et opérationnel (selon le modèle de Michon) (Johansson et al., 2004). Leurs objectifs sont d'améliorer la mobilité, l'efficacité du parcours, le confort et les services de transport. Par exemple, réduire la consommation et l'émission de carburant ou éviter les embouteillages (Simões & Pereira, 2009). De plus, ils représentent une ressource intéressante pour augmenter la sécurité et permettre de sauver des vies. Les systèmes d'aide à la conduite impliquent une grande variété d'applications technologiques émergentes et avancées.

Il existe plusieurs bénéfices pour les personnes vieillissantes d'utiliser ces systèmes d'aide à la conduite (Eby & Molnar, 2014; OCDE, 2001; Suen & Mitchell, 2000). Les personnes vieillissantes pourraient bénéficier d'un support d'un système d'aide à la conduite dans des situations critiques, des environnements routiers non familiers ou lors d'un virage à une intersection non protégée (c'est-à-dire sans panneau ou feu de signalisation) (Simões & Pereira, 2009). On peut ajouter que dans le futur, la manière de vivre son vieillissement devrait être révolutionnée grâce aux technologies d'assistance, et principalement avec les technologies d'aide à la conduite automobile (Peleg-Adler et al., 2018; Reimer, 2014; Williams, Alam, Ahamed, & Chu, 2013). Ces problèmes sont d'ailleurs différents de ceux que rencontrent les personnes plus jeunes (Fisk et al., 2009). Il est essentiel que ces systèmes s'appuient et soient établis sur les attentes réelles des conducteurs (Reimer, 2014).

1.3.1 Différentes catégories de système d'aide à la conduite

De nos jours, il y a un certain nombre de systèmes d'aide à la conduite qui ont le potentiel d'être bénéfiques pour les personnes vieillissantes, compte tenu des diminutions liées à l'avancée en âge. Comme nous l'avons indiqué dans la définition introductive de ce document, les systèmes d'aide à la conduite sont divisés en deux catégories : les systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) et les systèmes d'information interactifs (IVIS) (Simões & Pereira, 2009).

En premier lieu, un système ADAS est un système développé pour automatiser, adapter et améliorer la conduite d'un véhicule en fournissant une assistance personnalisée dans un environnement routier (Davidse, 2006; Shakshuki et al., 2013). Les exemples les plus connus sont le régulateur de vitesse, le détecteur d'angle mort, le radar de recul, le détecteur de dépassement de ligne, la détection des usagers vulnérables (Davidse, 2006; Eby & Molnar, 2014; Shakshuki et al., 2013; Simões & Pereira, 2009). Le Tableau 1 présente en détail quelques systèmes ADAS.

Tableau 1 - Exemples de système ADAS

Type de système	Fonctionnalités
Régulateur de vitesse	Maintient une vitesse constante du véhicule sans que le conducteur garde le pied sur la pédale d'accélérateur. Un capteur (placé au niveau de la sortie de la boîte de vitesse) envoie la vitesse relevée à un capteur appelé Engine Control Module ou ECM. Ce dernier effectue seul les corrections du régime du moteur selon la consigne envoyée par le conducteur et la vitesse relevée.
Régulateur de vitesse adaptatif	Ajuste automatiquement la vitesse du véhicule pour maintenir une distance constante entre deux véhicules grâce à un radar ou un laser.
Détecteur d'angle mort	À partir de capteurs vidéo ou radars, ce système détecte les autres véhicules venant de droite ou de gauche. Le système avertit le conducteur avec un point orange ou un flash lumineux dans le rétroviseur.

Type de système	Fonctionnalités
Radar de recul	Ce système aide le conducteur à évaluer la distance arrière en émettant une alerte sonore lorsque l'arrière du véhicule se trouve à proximité d'un objet. Ce sont des détecteurs d'obstacle à ultrason qui font la mesure. Le type d'alerte est sous la forme de sons ou d'une vision arrière à l'aide d'une caméra. Ce système existe aussi pour l'avant ou les angles du véhicule.
Système de stationnement automatisé	Ce système oriente le véhicule automatiquement dans un espace de stationnement avec peu d'informations venant du conducteur grâce à des capteurs, des radars ou des caméras fonctionnant au moyen de signaux d'écholocalisation. Dans certains cas, ce système peut détecter automatiquement une place de stationnement avant le conducteur.
Détecteur des piétons/cyclistes	Le système indique au conducteur la présence de piétons et de cyclistes à l'avant du véhicule au moyen de radars ou de caméras. Le système peut aussi prendre le contrôle du véhicule pour freiner automatiquement.
Système de freinage automatique	Le véhicule s'arrête automatiquement à l'aide de capteurs de distance radar ou de caméra pour éviter un obstacle devant le véhicule (objet, véhicule, piéton, etc.). Ce système est également capable d'anticiper le choc en resserrant les ceintures de sécurité.
Détecteur de lignes au sol	Ce système peut détecter la position du véhicule sur la voie. Il informe le conducteur par un signal sonore s'il y a un franchissement de ligne sans que le clignotant soit activé grâce à des capteurs infrarouges ou de caméras braquées sur le sol.

Les systèmes ADAS peuvent aider les personnes à conduire de manière sécuritaire, et ce jusqu'à un âge avancé, puisque ces dispositifs sont conçus pour coopérer avec le conducteur et lui permettre d'atteindre les objectifs du voyage (Eby & Molnar, 2012; Simões & Pereira, 2009). Ces systèmes sont aussi conçus pour éviter les collisions et les accidents grâce à un système d'alerte au conducteur du danger potentiel. Ces systèmes fournissent des renseignements dépendants du contexte (par exemple, notifier la présence d'un piéton sur le côté de la route), tandis que d'autres systèmes peuvent prendre le contrôle partiel de la voiture (par exemple : le freinage automatique pour éviter une collision) (Eby

& Molnar, 2012). À plus large échelle, cela permettrait de réduire les accidents sans changement de l'infrastructure existante avec l'intégration de ces systèmes dans les véhicules actuels. Ajoutons que dans quelques années, ces systèmes ADAS imposeront le cadre à la fois technique, psychologique et juridique pour l'avenir des véhicules autonomes (Reimer, 2014).

En second lieu, les systèmes IVIS sont des systèmes embarqués dans le véhicule qui fournissent au conducteur des informations et permettent la communication entre le conducteur et le système (Simões & Pereira, 2009). Ces systèmes ne sont pas liés obligatoirement à la tâche de conduite. Ce sont entre autres les systèmes de divertissement (radio) ou de télécommunication (téléphone, courriel) ou les systèmes de navigation (GPS). Le GPS permet au conducteur de savoir où il se trouve en temps réel. La position du conducteur est mesurée par des signaux transmis par satellites. Généralement, la position est affichée sur une carte virtuelle et le conducteur peut avoir des instructions étape par étape pour se rendre à une destination choisie.

Ces systèmes d'aide à la conduite se développent rapidement depuis quelques années et chaque compagnie automobile intègre ces systèmes dans leurs véhicules. La principale limite de ces systèmes (ADAS et IVIS) est que les informations transmises peuvent être distrayantes et donc gêner la conduite (Eby & Molnar, 2014). La Convention de Vienne adoptée le 8 novembre 1968, au Conseil économique et social des Nations Unies, prévoit un cadre juridique concernant l'utilisation des systèmes technologiques dans les véhicules. C'est l'article 8 qui justifie que « tout conducteur doit constamment avoir le contrôle

de son véhicule »¹⁵. Au Québec, la loi impose au conducteur d'avoir les deux mains libres et éviter toute distraction avec les écrans lors de sa conduite automobile¹⁶. Avant tout, les progrès techniques des systèmes d'aide à la conduite ne peuvent s'implanter que si les conducteurs réussissent à acquérir les compétences nécessaires pour les utiliser (Reimer, 2014).

1.3.2 Impact des systèmes d'aide sur la conduite automobile

La technologie a pour but d'assister le conducteur dans la performance de sa tâche de conduite, qui bien souvent a lieu dans un environnement dynamique et incertain. Cette assistance prend la forme de conseils en temps réel ou d'avertissements (Eby & Molnar, 2014; Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). Les systèmes d'aide à la conduite ont donc un impact sur la conduite automobile. Cet impact peut être positif, mais également négatif.

Les systèmes d'aide à la conduite peuvent améliorer la conduite en assistant le conducteur. Le système permet de donner des informations que le conducteur n'aurait pas perçues, de supporter le conducteur en regard des exigences de la tâche de conduite et de modérer l'impact de la diminution des aptitudes d'un conducteur vieillissant (Davidse, 2006). Cependant, des contraintes à l'utilisation d'un système sont aussi possibles. Tout d'abord, le système d'aide à la conduite peut exiger un effort mental supplémentaire à la tâche de conduite. Il faut donc minimiser les potentielles interférences. C'est au travers des interactions ergonomiques entre le conducteur et le système qu'il est possible de diminuer ces interférences (Kim & Dey, 2015; Simões & Pereira, 2009). Si une interaction

¹⁵ Récupéré le 13 janvier 2019 du site internet : <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19680244/index.html>

¹⁶ Récupéré le 13 janvier 2019 du site internet : <https://saaq.gouv.qc.ca/securite-routiere/comportements/distractions/ce-que-dit-la-loi/>

avec un nouveau système est mal conçue, cela va se répercuter sur la tâche de conduite en la rendant plus complexe. Il s'agit alors de vérifier que le système n'exige pas une grande charge mentale lors de la transmission d'informations au conducteur (Reimer, 2014; Simões & Pereira, 2009).

Ensuite, les systèmes d'aide à la conduite peuvent être une contrainte plutôt qu'un avantage pour les conducteurs vieillissants. En plus de la distraction que le système peut engendrer, il existe aussi un problème causé par un manque d'expérience avec ces systèmes et qui les rend complexes pour les conducteurs vieillissants (Simões & Pereira, 2009). L'introduction d'une nouvelle technologie dans le véhicule ne représentera pas nécessairement une amélioration de la conduite pour les conducteurs vieillissants. La plupart de ces systèmes exigent un changement des comportements de la part du conducteur, induisant donc le développement de nouveaux comportements de conduite. Pour les conducteurs vieillissants, ce changement peut être difficile puisqu'il ferait abstraction de leur expérience de conduite acquise pendant des années et aussi, parce que ces conducteurs ne peuvent pas comparer l'usage de ces systèmes à une expérience antérieure de conduite connue (Pauzie, 2013; Reimer, 2014).

L'impact d'un nouveau système d'aide à la conduite est difficile à prédire pour cette catégorie de conducteur. C'est pourquoi il faut étudier les comportements induits par ces systèmes dans le but de prévenir et d'éviter de gêner l'activité de conduite (Reimer, 2014; Simões & Pereira, 2009).

1.3.3 Éducation pour l'utilisation des systèmes d'aide à la conduite

En principe, les systèmes d'aide à la conduite sont conçus pour tous les conducteurs. Ces systèmes doivent être faciles à utiliser pour que le conducteur comprenne les fonctionnalités et s'en serve efficacement (Fisk et al., 2009). En général, les conducteurs vieillissants ont moins de connaissances sur les

fonctionnalités des systèmes d'aide à la conduite. Il faut considérer également que les personnes vieillissantes ont des attentes différentes des personnes plus jeunes, principalement à cause des différents niveaux de compréhension de la technologie. Par exemple, un adolescent ou un jeune adulte va plus facilement faire un mouvement de balayage avec ses doigts sur une application mobile qu'une personne plus âgée qui est moins habituée à ce genre d'action (Williams et al., 2013). Il manque aujourd'hui un apprentissage des systèmes d'aide à la conduite par les conducteurs, et plus particulièrement pour les conducteurs vieillissants, afin de leur permettre l'adoption d'un système d'aide à la conduite.

Si on facilite la compréhension des fonctionnalités de ces systèmes, cela augmentera la confiance des conducteurs vieillissants à les utiliser (Reimer, 2014; Souders & Charness, 2016). C'est ce que démontrent les chercheurs Reimer, Mehler et Coughlin. Dans leur étude, ils ont réalisé des tests utilisateurs pour faire prendre connaissance à des conducteurs d'un système d'aide pour les assister lors du stationnement du véhicule. Les participants avaient des attentes plus positives de la façon dont le système pouvait réduire leur stress, et beaucoup ont aussi exprimé un intérêt pour l'acheter. Quand les personnes sont mieux sensibilisées à l'utilisation d'un système d'aide à la conduite, au-delà d'une formation dispensée par un manuel de voiture ou d'une vidéo sur Internet, elles en saisissent mieux les avantages et les limites (Reimer, Mehler, & Coughlin, 2010).

Les systèmes d'aide à la conduite sont acceptés par les personnes vieillissantes à la condition que les systèmes s'adaptent à leurs besoins en ce qui concerne la sécurité et la mobilité (Davidse, 2006; Simões & Pereira, 2009). Si un conducteur remet en question sa confiance dans une nouvelle technologie, celui-ci sera plus susceptible d'éteindre le système, ce qui réduira les avantages potentiels et créera des appréhensions pour une utilisation future (Reimer, 2014). Le rejet d'un

système peut résulter d'une mauvaise conception ou d'une formation inexistante ou inadéquate. En effet, à l'heure actuelle, les interfaces ne cessent d'augmenter en complexité avec l'ajout de nouvelles fonctionnalités (Castillejo, Almeida, & López-de-Ipina, 2013). Une conception appropriée est un facteur important pour favoriser des interactions entre les utilisateurs et le système (Williams et al., 2013). Et bien qu'un système semble intuitif et facile à utiliser, chaque système d'aide à la conduite nécessite une explication pour en faire un usage sécuritaire et comprendre comment l'utiliser (Reimer, 2014; Simões & Pereira, 2009).

En 2013, la chercheuse Pauzié attire l'attention sur le fait qu'introduire un système d'aide à la conduite présente à la fois un bénéfice et une éventuelle dégradation de la sécurité routière. Pour éviter une dégradation de la sécurité routière, il faut s'assurer que les personnes vont non seulement utiliser la technologie, mais qu'elles le feront correctement (Pauzie, 2013). Pour ce faire, mesurer le degré de familiarité et l'opinion des usagés visés sont importants pour évaluer les attitudes des conducteurs à l'égard de ces systèmes d'aide à la conduite. La familiarité mesure la connaissance de la technologie ; alors que l'opinion mesure le niveau d'attitude favorable ou défavorable à l'égard de la technologie. Dans leur étude, les chercheurs Duncan et collègues ont effectué des corrélations de Pearson pour mesurer la relation entre la familiarité et l'opinion. Leurs résultats indiquent que la familiarité et l'opinion sont liées. Sachant que plus la familiarité est grande, plus l'opinion sera positive. Un second résultat est que si les personnes ont une bonne opinion d'une technologie, alors la probabilité d'utiliser la technologie augmente. Les chercheurs en déduisent un lien de causalité pour encourager l'usage des systèmes. Ce lien est que la familiarité induit l'opinion positive et entraîne une volonté d'utiliser le système (c'est-à-dire la mesure du niveau de probabilité que la personne va réellement utiliser la technologie si celle-ci est disponible) (Duncan et al., 2015). Ce qui signifie que

la volonté d'utiliser un système repose à la fois sur la familiarité et sur l'opinion générale pour les systèmes d'aide à la conduite.

1.3.4 Résumé de section

Pour reprendre les idées principales, nous avons vu qu'il y a un avantage à développer des systèmes d'aide à la conduite pour les personnes vieillissantes. Ces systèmes permettent d'améliorer la mobilité et les services liés au contexte de conduite automobile. Il existe deux sortes de systèmes : les systèmes ADAS et les systèmes IVIS. Ceux-ci ont un impact sur la conduite. La fonctionnalité première de ces systèmes est d'assister le conducteur, mais ils peuvent avoir des aspects négatifs tels que la surcharge d'informations pouvant gêner le conducteur dans sa tâche de conduite. C'est pourquoi il faut intégrer la formation à l'utilisation des systèmes d'aide à la conduite, mais aussi s'attarder aux besoins et attentes des utilisateurs afin d'avoir un système crédible favorisant son acceptation par les utilisateurs visés. C'est le cas particulièrement pour les personnes vieillissantes qui ont des besoins différents des personnes plus jeunes.

1.4 Le développement d'Interfaces Humain-Machine pour ces systèmes

Les personnes vieillissantes doivent s'accommoder des avancées rapides des systèmes informatiques, bien que ça ne corresponde pas forcément à leurs attentes et provoque bien souvent un refus d'adopter ces nouvelles technologies. Pour favoriser l'adoption d'un système, celui-ci doit être crédible afin d'encourager l'utilisateur à lui faire confiance et l'utiliser régulièrement (Simões & Pereira, 2009; Williams et al., 2013). L'interface est le moyen de transmission des informations du système à l'utilisateur. L'interface joue donc un rôle important et doit être développée dans le but de soutenir l'attention du conducteur (Reimer, 2014). C'est davantage le cas lors de la conception de systèmes pour les conducteurs vieillissants (Czaja & Lee, 2002; Williams et al., 2013). Par ailleurs, les personnes vieillissantes n'ont pas grandi avec ces systèmes informatiques, ce qui les amène bien souvent à une image négative de ces systèmes. En effet, les personnes vieillissantes considèrent que les technologies empiètent dans leur vie privée à cause d'un grand nombre de données recueillies (Fozard & Wahl, 2012; Zickuhr & Madden, 2012). Il faut donc connaître les attentes et les besoins des personnes vieillissantes pour encourager l'usage d'un système informatique.

Les sections suivantes présentent les éléments à considérer pour développer un système optimal selon la méthode de la conception centrée sur l'utilisateur (1.4.1) et les critères ergonomiques à utiliser pour évaluer et valider les interfaces de ce système (1.4.2).

1.4.1 Méthode Conception Centrée sur l'Utilisateur (CCU)

Lorsque les concepteurs développent un système, il arrive très souvent que la solution finale ne corresponde pas aux attentes des utilisateurs visés et donc, n'encourage pas l'acceptation et l'adoption de ce système. La méthode CCU a

été proposée pour influencer positivement les utilisateurs et développer un système complet. Cette démarche méthodologique permet de guider les concepteurs à développer un système qui considère les caractéristiques et besoins des utilisateurs visés afin de favoriser l'utilisabilité du produit final (Steen, Kuijt-Evers, & Klok, 2007). Cette méthode implique de tenir compte des caractéristiques des utilisateurs, des tâches et du contexte où elles sont accomplies. Pour ce faire, le recueil de données, par entretiens, questionnaires ou tests utilisateurs, permet d'évaluer spécifiquement les besoins des utilisateurs visés. Enfin, la caractéristique majeure de la CCU est son aspect itératif, c'est-à-dire que les utilisateurs vont être impliqués activement tout au long du processus de développement du système informatique, avec parfois la reprise de certaines tâches pour l'obtention d'un produit final correspondant aux attentes des utilisateurs. Ainsi, plusieurs effets positifs apparaissent tels la qualité de la recherche, la rapide exécution du processus de conception ou encore, l'adéquation entre les besoins des utilisateurs et le produit (Kujala, 2003).

Des principes sont à la base des exigences et des recommandations pour la bonne application de la méthode CCU. La Figure 5 permet d'illustrer ces principes et l'enchaînement des activités de CCU.

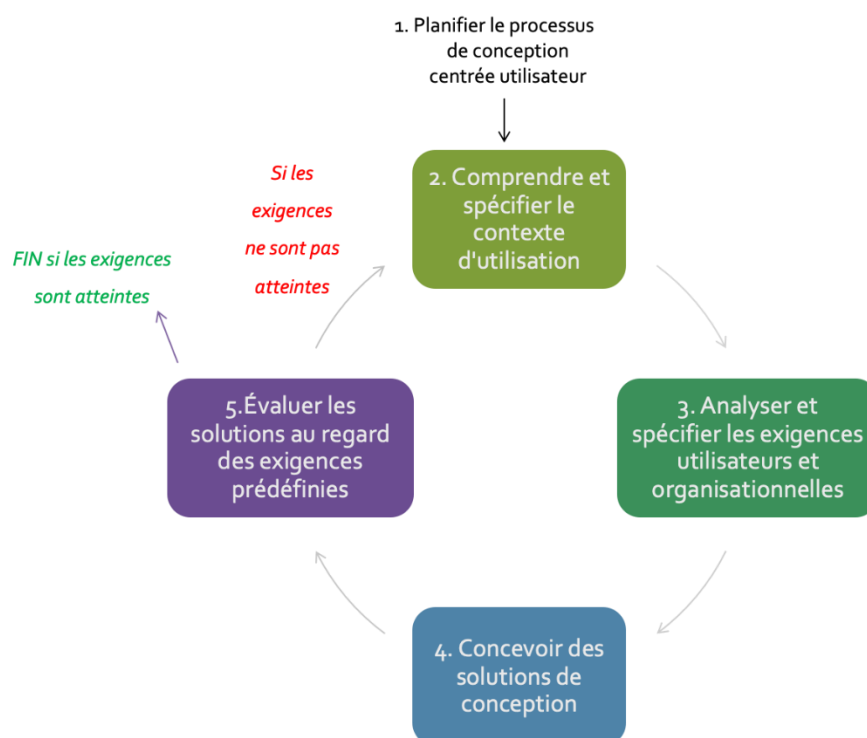


Figure 5 - Les étapes du cycle de la CCU (texte issu de la figure d'Ergolab¹⁷)

Dans le cadre de ce projet, après la planification, la seconde étape a été de développer un questionnaire pour comprendre les besoins et les attentes des conducteurs vieillissants concernant leur caractéristique de conduite, leur utilisation actuelle des systèmes d'aide à la conduite ou encore, leurs choix de pictogrammes et de couleurs pour différentes interfaces. La troisième étape a été d'analyser les réponses du questionnaire, avant de concevoir le système en fonction des choix de réponses dans la quatrième étape. Enfin, la cinquième étape

¹⁷ Récupéré le 13 janvier 2019 : <http://www.ergolab.net/articles/conception-centree-utilisateur.php>

a été d'évaluer le système en condition réelle de conduite avec la catégorie de conducteurs concernés.

Il existe des limites à la méthode CCU. La première est que généralement les utilisateurs ont tendance à évaluer positivement le produit lors du recueil de données. Il faut faire attention à la relation entre l'utilisateur et le chercheur, pouvant provoquer un biais de désirabilité sociale, surtout lors des entretiens. Une autre limite concerne la grosseur de l'échantillon, un petit échantillon pouvant donner lieu à un produit trop personnalisé ne correspondant pas à la catégorie d'utilisateurs finaux (Stewart & Williams, 2005).

En résumé, en proposant aux utilisateurs de travailler en collaboration avec des chercheurs dès le début, cela permet un recueil d'informations adaptées à leurs besoins et aux attentes. Puisque les conducteurs vieillissants sont une catégorie d'utilisateurs qui semblent avoir une image négative des systèmes informatiques et qu'ils ne les adoptent pas facilement, la méthode CCU apparaît comme une méthode appropriée pour concevoir un système d'aide à la conduite répondant aux besoins et aux attentes de ces conducteurs.

1.4.2 Évaluation des interfaces avec les critères heuristiques

En ergonomie, plusieurs critères heuristiques ont été développés pour concevoir et évaluer une interface, ce qui a amené à un regroupement des critères par thématiques selon différents angles et points de vue. Les auteurs Brangier, Desmarais, Nemery et Prom-Tep parlent d'évolution sociohistorique des « bonnes » manières de procéder. Historiquement, on retrouve quatre thématiques qui ont émergé au fil du temps et qui ont permis d'analyser et d'évaluer les interfaces sous différentes perspectives. Dans cette section, nous nous concentrons en premier sur l'utilisabilité (1.4.2.1), puis sur la persuasion

(1.4.2.2) et enfin, nous présenterons les critères d'acceptation proposés pour les personnes vieillissantes (1.4.2.3).

1.4.2.1 Les critères pour faciliter l'utilisation d'un système

Aujourd'hui, l'interaction avec les systèmes est devenue une priorité pour procurer des expériences positives aux utilisateurs. Comme nous l'avons mentionné dans la section précédente lors de la présentation de la méthode CCU, il est essentiel de travailler avec l'utilisateur lors de la conception et de l'évaluation d'une interaction avec un système. C'est pourquoi des critères ont été proposés pour standardiser la façon d'évaluer le système.

Plusieurs auteurs ont proposé des critères pour évaluer la facilité d'utilisation des IHM. En premier lieu, Norman a proposé sept principes d'utilisabilité pour transformer une tâche difficile en une tâche facile à réaliser (Norman, 1988). La même année, l'auteur Shneiderman a développé huit règles d'utilisabilité pour concevoir un échange entre l'homme et la machine (Shneiderman, 1988). Puis, en 1994, l'auteur Nielsen a indiqué que les précédents facteurs ne semblaient pas couvrir les principes fondamentaux de visibilité et que les problèmes d'utilisabilité étaient dus à une grande variété de phénomènes sous-jacents (Nielsen, 1994). Les trois précédents auteurs ont des critères heuristiques redondants. C'est pourquoi Bastien et Scapin ont proposé un regroupement entre 18 critères répartis en huit dimensions pour faciliter l'utilisation des systèmes informatiques (Bastien & Scapin, 1993) (Tableau 2).

Tableau 2 – Les critères de Bastien et Scapin (1993)

Critères de Bastien et Scapin
<ol style="list-style-type: none">1. Le guidage oriente, conseille et informe l'utilisateur. Il est composé lui-même de quatre sous critères : l'incitation, le groupement distinction par le format, le feedback immédiat et la lisibilité.2. La charge de travail permet de réduire la charge perceptive ou mnésique des utilisateurs. Les sous-critères sont la brièveté et la densité informelle.3. Le contrôle explicite est la prise en compte par le système des actions explicites de l'utilisateur et le contrôle qu'ont les utilisateurs sur leurs actions. Les sous-critères sont des actions explicites et du contrôle utilisateur.4. L'adaptabilité est la capacité du système à réagir selon le contexte et les besoins des utilisateurs. Ses sous-critères sont la flexibilité et la prise en compte de l'expérience.5. La gestion des erreurs est le moyen qui permet d'éviter ou de réduire le nombre d'erreurs. Il existe trois sous-critères : la correction des erreurs, la protection contre les erreurs et la qualité des messages d'erreurs.6. L'homogénéité/la cohérence concerne la façon dont les choix de conception sont conservés pour des contextes identiques ou différents.7. La signifiante des codes et des dénominations est l'adéquation entre l'information affichée et son référent.8. La compatibilité est l'accord entre les caractéristiques des utilisateurs et les tâches.

Lors de l'application d'une grille de critères heuristiques, il est primordial d'avoir des connaissances avancées sur le contexte, l'utilisateur et la tâche à réaliser pour pouvoir appliquer la grille. Comme on peut le constater en lisant les critères, ceux-ci se complètent et se superposent. Certains critères sont uniques et d'autres se répètent d'une grille à l'autre. Toutefois, ces différentes grilles ne sont pas toutes valides statistiquement (indice de Kappa, alpha de Cronbach, matrice de confusion, etc.). La seule grille qui a des coefficients statistiques significatifs est la grille de Bastien et Scapin (Brangier, Desmarais, Nemery, & Prom-Tep, 2015). Nous utiliserons donc leurs critères pour faire l'évaluation de notre système.

1.4.2.2 Les critères ergonomiques pour l'appréciation de la persuasion technologique

La démocratisation d'Internet et des réseaux sociaux a entièrement modifié les rapports aux technologies. Désormais, la conception des interactions se doit de favoriser l'interaction sociale plutôt que l'objet technique utilisé. Le développement des critères heuristiques s'est donc aligné avec la motivation de faire participer les utilisateurs (Brangier et al., 2015). C'est ainsi que la notion de persuasion a émergé à la fin des années 90. Initialement, c'est sous le terme de Captologie¹⁸ que tout a commencé (Fogg, 1998). Le but de la persuasion est d'agir sur le comportement et les attitudes des individus au travers des technologies informatiques (Foulonneau, Calvary, & Villain, 2015). Ce qui implique la considération de dimensions cognitives et psychosociales pour concevoir et évaluer des outils informatiques qui vont influencer le comportement des utilisateurs. Toutes les technologies persuasives ont un effet final qui peut être positif (partiellement ou totalement), négatif ou sans effet. Enfin, la persuasion peut être utilisée dans différentes disciplines (santé, marketing,

¹⁸ Captologie traduit du terme anglais Captology (Computer As Persuasive TechnOLOGY)

éducation, etc.) pour développer des applications mobiles, des sites Web ou des logiciels.

Le choix de la méthode persuasive dépend principalement de l'objectif du projet de conception ou d'évaluation. Dans notre recherche, nous avons choisi les critères conçus pour l'appréciation des technologies persuasives (Némery & Brangier, 2014). Ces critères sont l'attractivité, le support initial, la sollicitation, l'intimité, l'emprise, l'engagement, la crédibilité et la personnalisation. L'objectif est d'utiliser des critères heuristiques pour définir et couvrir tous les aspects de la persuasion dans les interfaces utilisateur. Ces auteurs sont les seuls à proposer des critères heuristiques pour évaluer la persuasion d'une technologie.

Ajoutons que la conception d'une technologie persuasive s'applique au domaine automobile et est en plein essor. Au cours des trente dernières années, il y a eu des progrès croissants dans le domaine des systèmes embarqués. L'utilisation de stratégies persuasives est connue dans le contexte automobile sous la forme des technologies d'écoconduite, lesquelles ont pour but de minimiser l'impact écologique des véhicules en encourageant les conducteurs à rouler moins vite ou à éviter d'accélérer brusquement (Meschtscherjakov, Wilfinger, Scherndl, & Tscheligi, 2009; Schätzl, 2015). D'autres formes de stratégies persuasives existent pour la conduite automobile telles que l'information sur le trafic en temps réel ou la promotion du covoiturage. Ces technologies automobiles peuvent être des systèmes embarqués dans le véhicule ou des applications mobiles sur le téléphone intelligent. L'auteur Schätzl précise que les technologies persuasives peuvent être adaptées à la sécurité routière afin d'améliorer le comportement de l'utilisateur et le motiver à modifier sa conduite selon les événements. L'objectif actuel de ces technologies persuasives appliquées au contexte automobile est de promouvoir la sécurité routière en agissant sur l'attitude et les comportements des conducteurs. Pour ce faire, deux approches

existent. La première est de fournir à l'utilisateur des informations en temps réel sur son comportement de conduite, avec, par exemple, des recommandations. Alors que la deuxième approche consiste à cumuler des informations sur le comportement du conducteur et lui fournir une rétroaction à la fin de son trajet automobile (Schätzl, 2015). Pour ce qui est de l'application de la persuasion aux conducteurs vieillissants, une étude a été mise au point pour concevoir et évaluer un outil de rétroaction visant à persuader cette catégorie de conducteurs à conduire plus prudemment à partir de leur évaluation de leur fatigue ressentie (Ruer, Gouin-Vallerand, & Vallières, 2016).

La persuasion est donc un phénomène en plein essor et qui peut s'appliquer au domaine du contexte automobile pour encourager les utilisateurs visés à modifier leurs attitudes ou comportements.

1.4.2.3 Les critères pour l'acceptation d'un système pour les conducteurs vieillissants

Cette présentation des critères heuristiques nous indique qu'il en existe un grand nombre pour évaluer un système informatique. Or, la prise en compte des caractéristiques des utilisateurs, des tâches et du contexte est primordiale. L'âge peut aggraver les problèmes d'utilisabilité à cause des différentes diminutions liées au vieillissement. Par exemple, voir et comprendre les symboles, le texte, les avertissements, etc. (Fisk et al., 2009). Il faut définir les critères qui correspondent le mieux aux besoins et aux exigences des conducteurs vieillissants (Duncan et al., 2015). Concernant les conducteurs vieillissants, dix critères ont été proposés par les chercheurs Lee et Coughlin pour que cette catégorie de conducteurs adopte une technologie (Lee & Coughlin, 2015).

Les critères sont :

1. La valeur : la perception de l'utilité et des avantages potentiels
2. L'utilisabilité : la perception de la convivialité et la facilité d'apprentissage
3. L'affordance : la perception des économies potentielles
4. L'accessibilité : les connaissances de l'existence et de la disponibilité sur le marché
5. L'expérience : la pertinence avec leurs expériences et leurs interactions antérieures
6. Le soutien technique : la disponibilité et la qualité d'une assistance professionnelle tout au long de l'utilisation
7. Le soutien social : le soutien de la famille, des pairs et de la communauté
8. L'émotion : la perception des avantages émotionnels et psychologiques
9. L'indépendance : la perception de la visibilité sociale
10. La confiance : la responsabilisation sans inquiétude ou intimidation

Chaque critère est déterminant pour l'adoption d'une technologie et pour son usage. Parmi ces facteurs, la valeur, la convivialité, le soutien social, les émotions et la confiance semblent être les facteurs les plus susceptibles d'affecter de manière positive l'adoption des systèmes d'aide à la conduite, tandis que l'accessibilité financière et l'accessibilité semblent être les plus restrictives à l'heure actuelle. Les effets de l'expérience, du support technique et de l'indépendance sur l'adoption des systèmes par les conducteurs vieillissants semblent plus difficiles à évaluer.

Ces critères n'ont pas encore été validés empiriquement. Pour avoir une conception appropriée d'interface, il faut prendre en compte que chaque être humain est unique et possède différentes capacités, particulièrement les personnes vieillissantes qui forment un groupe hétérogène concernant leur utilisation du numérique (Peleg-Adler et al., 2018).

Les principaux problèmes rencontrés par les conducteurs vieillissants sont liés à des difficultés soit relatives au conducteur au plan moteur (difficultés à faire certains mouvements ou des mouvements précis) et cognitif (surcharge cognitive menant à la distraction), soit relatives à l'IHM en raison d'une faible confiance vis-à-vis de l'interface ou d'une mauvaise conception de l'interface (Williams et al., 2013). Lors de l'utilisation d'un outil technologique, les problèmes d'utilisabilité rencontrés touchent la diminution de la vision, les diminutions motrices et de coordination, ou encore, la complexité des interfaces (Leung, McGrenere, & Graf, 2011). C'est pourquoi l'interface d'un système d'aide à la conduite est importante et qu'il faut réfléchir à la manière de présenter les informations, notamment pour les conducteurs vieillissants, en gardant à l'esprit de ne pas augmenter la charge mentale lors de l'activité de conduite.

1.4.3 Affichage de l'interface du système d'aide à la conduite

Dans la littérature, on retrouve différents types d'affichages d'une interface pour la catégorie des personnes vieillissantes. Cet affichage peut être visuel, auditif ou haptique. Comme nous l'avons mentionné précédemment, certaines diminutions sensorielles apparaissent avec le vieillissement et ont un impact sur le type d'interface qu'il faudra concevoir.

Pour un affichage visuel, il faudra tenir compte d'une diminution de l'acuité visuelle, de la vision périphérique, d'une diminution de la vision dans le noir, etc. En outre, le type d'affichage doit être simplifié au maximum pour les personnes

vieillissantes. Un problème de taille des caractères ou un grand nombre de couleurs peuvent amener à une confusion et à une frustration de la part de l'utilisateur (Kim & Dey, 2015; Williams et al., 2013). Les pictogrammes (appelés aussi icônes) sont une partie importante des interfaces utilisateurs. Ceux-ci constituent le lien pour comprendre les fonctionnalités de l'outil technologique utilisé. Les chercheurs Leung, McGrenere et Graf mentionnent que peu de travaux ont été consacrés à déterminer l'influence des pictogrammes lors de l'utilisation d'ordinateurs ou d'appareils mobiles par les personnes vieillissantes, alors qu'il existe des preuves comme quoi les personnes vieillissantes ont beaucoup plus de difficulté que les personnes plus jeunes à utiliser une variété de pictogrammes dans les appareils mobiles existants. En comparant deux groupes d'âge, les résultats ont montré que les deux groupes avaient eu des réactions différentes avec des pictogrammes similaires. Les personnes vieillissantes se retrouvaient plus souvent bloquées parce qu'elles n'étaient pas en mesure d'interpréter les pictogrammes de l'interface, alors que les personnes plus jeunes se débrouillaient pour les comprendre. Leur étude a mis en avant les caractéristiques des pictogrammes à choisir pour encourager l'utilisabilité d'un appareil mobile par les personnes vieillissantes. Les résultats sont que les pictogrammes concrets, ayant une signification sémantique proche et qui sont étiquetés, sont plus faciles à comprendre. Les difficultés de compréhension des pictogrammes sont donc un facteur à prendre en compte lors de l'utilisation des technologies, ce qui expliquerait en partie pourquoi les personnes vieillissantes trouvent difficile d'utiliser un appareil mobile et de façon plus large, pourquoi elles sont relativement plus lentes à adopter les technologies informatiques (Leung et al., 2011). Il y a donc un intérêt à définir avec les personnes vieillissantes quels pictogrammes faciliteraient l'utilisation d'une interface mobile, en particulier lors de la conduite automobile pour améliorer leur mobilité et leur qualité de vie.

Pour l'affichage auditif, en considérant les diminutions des capacités auditives dues au vieillissement, ce type d'affichage doit être plus fort et correctement placé. On peut citer le système de détection des angles morts qui envoie un son d'alerte lorsqu'un objet entre dans l'angle mort du conducteur (Eby et al., 2016; Kim & Dey, 2015; Williams et al., 2013).

Enfin, l'affichage haptique doit combler les lacunes sur le plan de l'audition. Le message haptique peut être sous la forme de sensations tactiles ou de vibrations. C'est par exemple le cas pour le système qui détecte les lignes au sol. Lors d'un franchissement de lignes sans que le clignotant soit activé, le système va envoyer une vibration légère dans le volant du côté du changement de direction (Eby et al., 2016; Kim & Dey, 2015; Williams et al., 2013).

Aujourd'hui, il y a un intérêt à promouvoir, pour les personnes vieillissantes, une approche multimodale, c'est-à-dire de combiner plusieurs modalités. Les interfaces multimodales peuvent ainsi fournir aux conducteurs le choix de personnaliser leurs interactions avec un système, de sorte que ces conducteurs puissent attribuer plus d'attention à d'autres canaux sensoriels (Reimer, 2014). Il faut toutefois être prudent dans la combinaison des modalités (visuelle, auditive ou haptique) pour ne pas surcharger d'informations les conducteurs (Castillejo et al., 2013) et mettre à l'épreuve leur charge mentale (Kim & Dey, 2015).

Il est reconnu que la performance de conduite est liée aux habiletés et aux stratégies visuelles (Castro, 2008). Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que le canal visuel est essentiel pour fournir les informations nécessaires pour réaliser la tâche de conduite. Les systèmes embarqués existants affichent principalement des messages visuels, comme du texte, des pictogrammes ou des cartes, sur un écran qui est placé généralement entre le siège conducteur et le siège passager. Lorsque les conducteurs font fonctionner ce système, ils sont obligés de

détourner les yeux pendant quelques secondes de la scène routière. Plus souvent les conducteurs quittent la route des yeux pendant sa conduite, plus le risque d'accident de la circulation sera élevé (Liu & Wen, 2004; Wittmann et al., 2006). Bien souvent, il s'agit d'une durée de deux secondes hors de la scène routière (valeur critique où il y a une plus grande probabilité d'avoir une collision) (Kim & Dey, 2009). L'auteur Pauzié indique que chaque affichage embarqué a un « coût visuel » associé, qui est quantifiable en termes de nombre et de durée de regards à effectuer pour obtenir une information spécifique du système (Pauzié, 2014).

Pour limiter les regards hors champ de la scène routière, un mode d'affichage visuel est favorisé. Il s'agit d'un système d'affichage tête haute (appelé aussi système HUD)¹⁹. Ce système est défini comme un affichage transparent qui présente des données sans que les utilisateurs aient à détourner leurs regards de la scène routière. L'origine du nom provient de l'aviation. Le pilote qui a sa tête positionnée « en haut » est capable de visualiser l'information en regardant vers l'avant et n'a pas à détourner son regard vers le bas pour récupérer l'information. Les auteurs Weintraub et Ensing ont défini le système d'affichage tête haute comme un affichage visuel placé devant le conducteur à moins de 15 degrés de leur ligne de mire où l'image semble se trouver à une certaine distance au-delà du pare-brise (Weintraub & Ensing, 1992). Pour le système d'affichage tête haute, les informations présentées sont par exemple la vitesse, des alertes, avertissements ou d'autres indicateurs (Tufano, 1997). La Figure 6 présente un exemple de scène routière avec l'affichage tête haute²⁰.

¹⁹ HUD traduit de l'anglais *Head Up Display*

²⁰ Disponible sur le site internet de Continental, récupéré le 13 janvier 2019 : <http://continental-head-up-display.com/>



Figure 6 - Affichage tête haute proposée par la compagnie Continental

Parmi les avantages du système d'affichage tête haute, celui-ci permet de réduire le nombre et la durée des regards déviés de la route par le conducteur. L'information est transmise directement dans son champ de vision, ce qui lui permet de garder son activité de conduite sous contrôle. Le système d'affichage tête haute permet donc de diminuer la fréquence des regards hors de la route. Le conducteur regarde devant lui et non sur l'écran au milieu du véhicule. De plus, comme il est concentré sur la scène routière, il a plus de temps pour analyser les événements et donc de détecter plus rapidement les obstacles sur la route (Liu & Wen, 2004; Tufano, 1997). Toutefois, certains inconvénients ont été recensés, puisque l'information étant projetée dans le champ de vision, il y a un risque d'occlusion d'objets pertinents lors de la conduite automobile (Liu & Wen, 2004).

Quelques études empiriques ont été réalisées pour évaluer le niveau d'acceptation du système d'affichage tête haute par les conducteurs sur route réelle (âgés entre 20 et 77 ans, moyenne d'âge : 40,5 ans). Les résultats ont indiqué qu'après un usage d'un système affichage tête haute, les participants de l'étude percevaient le système facile à utiliser et l'ont évalué positivement. De plus, presque tous les participants ont exprimé la volonté de conserver le système après l'expérience. Bien que l'image du système d'affichage tête haute testé n'était pas aussi claire

que les systèmes d'affichage tête haute commercialisés, l'éclairage n'était pas assez fort pour la lumière du jour dans certains véhicules et la connexion GPS n'était pas toujours au maximum. Les participants ont quand même jugé le système très facile et agréable à utiliser (Tretten, Gärling, Nilsson, & Larsson, 2011).

Plusieurs avantages des systèmes d'affichage tête haute apparaissent pour les personnes vieillissantes. En premier lieu, ce type de système peut permettre de pallier les diminutions liées au vieillissement, notamment concernant la vision (Anstey et al., 2005; Fisk et al., 2009). L'auteur Pauzié indique que les principaux bénéficiaires des systèmes d'affichage tête haute sont les personnes vieillissantes, compte tenu de leur champ de vision plus restreint (Pauzié, 2014). En testant ce système d'affichage tête haute, Kim et Dey ont montré que, d'un point de vue général, les conducteurs vieillissants appréciaient le fait de regarder à la fois la navigation par l'affichage tête haute et la rue lorsqu'ils traversaient (Kim & Dey, 2015). En second lieu, il existe un point de vue largement reconnu sur l'importance de garder les personnes vieillissantes en phase avec les derniers développements technologiques. L'adoption de la technologie est donc nécessaire et permet à celles-ci de rester en phase avec les nouvelles technologies informatiques. Il y a donc un grand intérêt à étudier ce type de système avec les personnes vieillissantes et il est essentiel de les encourager à adopter de nouvelles technologies pour améliorer leur culture du numérique (Peleg-Adler et al., 2018).

1.4.4 Résumé de la section

Pour synthétiser, la méthode de conception centrée utilisateur est une démarche itérative qui permet de définir les caractéristiques et les besoins des utilisateurs visés. Son objectif est d'influencer positivement les utilisateurs et de permettre la conception d'une application réussie, augmentant les probabilités d'être adoptée et utilisée. L'ergonomie permet de prendre en compte l'utilisateur

humain dans la conception de système humain-machine. Des critères ergonomiques ont été développés pour concevoir et évaluer l'utilisabilité des interfaces des technologies informatiques. Aujourd'hui, une approche complémentaire est l'étude de l'appréciation de la persuasion des systèmes technologiques pour modifier les comportements dangereux de la conduite automobile. Lors de la conception des interfaces, l'affichage des informations du système se fait via son interface. Cette dernière est composée d'éléments comme des pictogrammes ou du texte. La sélection de ces éléments doit se faire avec les personnes vieillissantes pour qu'ils répondent à leurs besoins et leurs attentes et, éventuellement, encourager une meilleure utilisabilité de la technologie informatique. Par ailleurs, la conception d'un système doit être multimodale. Il faut prendre en compte les modalités sensorielles et cognitives pour assurer la fiabilité et la performance de ces systèmes.

CHAPITRE II

IDENTIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES DES PERSONNES VIEILLISSANTES ET LEURS BESOINS POUR UN SYSTÈME D'AIDE À LA CONDUITE (ÉTUDE EXPÉRIMENTALE 1)

2.1 Préambule

Cette étude est réalisée dans un contexte où de nombreux Québécois vieillissent et sont amenés à utiliser leur véhicule chaque jour. Étant considérée comme la seconde population victime d'accident dans la province, cette population est à risque et un système d'aide à la conduite semble pertinent pour les assister dans leur conduite.

Pour rappel, notre problématique est de concevoir un système d'aide à la conduite directement avec la population des conducteurs vieillissants pour répondre aux attentes des groupes d'utilisateurs et les encourager à utiliser ce type de système. Les objectifs de recherche sont premièrement, de préciser les attentes et besoins des conducteurs vieillissants pour constituer une base de connaissance sur le contexte d'utilisation du système d'aide à la conduite ; et deuxièmement, de développer le système et valider son utilisabilité.

Pour répondre à ces objectifs, nous avons réalisé deux études inspirées de la méthode Conception Centrée-Utilisateur (CCU). La première étape a été de réaliser une phase d'analyse des utilisateurs visés pour définir leurs

comportements de conduite et ce qui les caractérise, ainsi que leurs besoins et attentes en ce qui concerne les systèmes d'aide à la conduite. À partir des résultats issus de cette première étude, nous avons réalisé une seconde étude composée d'une phase de conception et d'une phase d'évaluation. La Figure 7 présente le déroulement de la recherche.

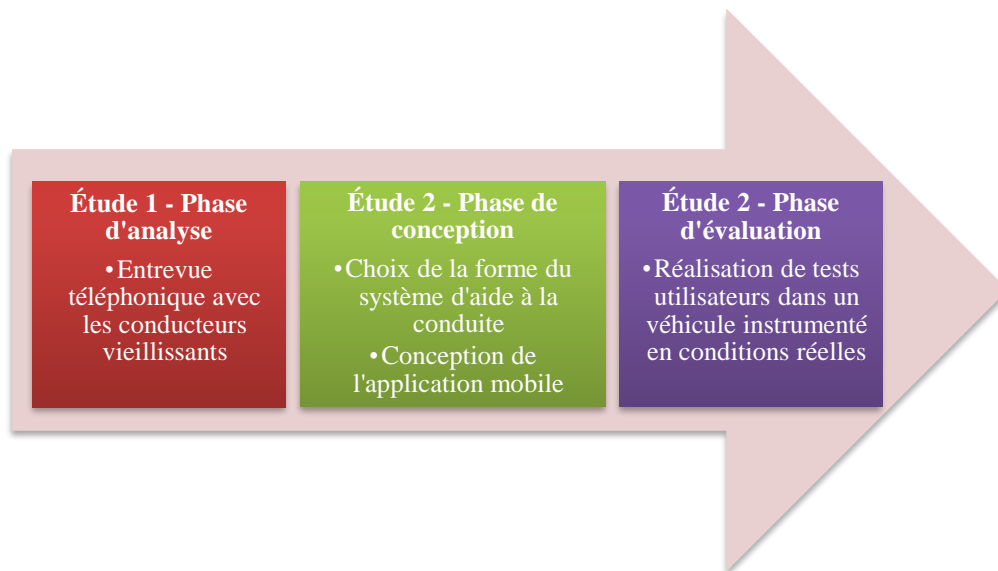


Figure 7- Déroulement de la recherche

Avant de présenter plus en détail la première étude expérimentale, il convient de préciser son contexte. Cette étude fait partie d'un projet de recherche plus large, concernant la sécurité routière des personnes vieillissantes québécoises, et financée par la Fondation CAA-Québec. L'objectif de ce projet était l'étude de la fatigue au volant des conducteurs vieillissants. Le projet de recherche a été divisé en trois étapes : une revue de la littérature, une étude pilote et une étude expérimentale. Dans le cadre de notre recherche, nous présenterons uniquement l'étude expérimentale qui concernait l'évaluation de deux systèmes d'aide à la conduite commercialisés pour le grand public et spécialisés pour diminuer la fatigue au volant. La méthodologie était constituée de trois phases. La phase 1

était la réalisation d'expérimentations dans un simulateur de conduite à l'Université de Montréal et dans un véhicule instrumenté de l'Université TÉLUQ (n=90). Les deux phases suivantes consistaient en deux entrevues téléphoniques un mois (phase 2) et trois mois après l'expérimentation (phase 3) (n=90). Pour notre recherche doctorale, nous avons tenu compte uniquement des résultats de la deuxième entrevue téléphonique trois mois après (phase 3), puisque cette entrevue était orientée sur des questions pour développer un système d'aide à la conduite spécifique aux conducteurs vieillissants. Ainsi, cette entrevue a permis d'impliquer les utilisateurs visés pour analyser leurs besoins et leurs attentes, ce qui correspond à la réalisation de la première étape d'une méthode CCU, laquelle nous est apparue, à la suite de la revue de la littérature, comme étant la mieux adaptée à la conception d'un système qui corresponde adéquatement aux besoins de nos utilisateurs, c'est-à-dire les conducteurs vieillissants (Iso, 2009; Millot, 2013).

2.2 Problématique et hypothèses de cette étude 1

La connaissance des futurs utilisateurs est souvent considérée comme évidente et acquise. Cependant, chaque utilisateur a des attentes différentes concernant une technologie informatique, et cela est d'autant plus vrai pour les utilisateurs vieillissants (Williams et al., 2013). La revue de la littérature nous indique tout d'abord qu'il y a peu de données scientifiques concernant la conception et l'évaluation de l'efficacité des systèmes d'aide à la conduite avec les conducteurs vieillissants. Ce qui rend difficile la mise en œuvre de politiques pour encourager l'utilisation de ces systèmes (Rakotonirainy & Steinhardt, 2009). Ensuite, la conception d'un système d'aide à la conduite pour améliorer la sécurité des conducteurs vieillissants nécessite une compréhension claire du contexte dans lequel les accidents se produisent et dans lequel un système d'aide à la conduite peut les aider. Il s'agit d'intégrer nos utilisateurs dans le cycle de développement

d'un système prototype pour mieux acquérir des connaissances solides sur les utilisateurs visés (Iso, 2009; Millot, 2013). Ainsi, cette acquisition de connaissances apporte à la fois des données sur l'activité de conduite des personnes vieillissantes, leurs attentes d'un système d'aide à la conduite et la manière d'optimiser l'interface de ce système. L'interface peut se définir comme le support matériel pour l'échange d'informations entre le système et l'utilisateur (Czaja & Lee, 2002; Reimer, 2014; Williams et al., 2013). La conduite automobile est une activité complexe, mais très pratiquée par les personnes vieillissantes. Dans la littérature, nous constatons que les diminutions liées au vieillissement impactent la conduite automobile, telles les diminutions physiologiques, cognitives et sensorielles avec l'avancée en âge (Anstey et al., 2005; Eby & Molnar, 2012). Nous pensons que ces diminutions peuvent provoquer plus de craintes envers certaines situations de conduite (Jung & Qin, 2014). Notre première hypothèse principale est que pour connaître les attentes des conducteurs vieillissants, il faut identifier les craintes de ces conducteurs, et également de connaître le degré d'utilisation et les expériences vécues avec les systèmes d'aide à la conduite (H1). Nos hypothèses spécifiques (HS), qui découlent de cette première hypothèse principale, sont les suivantes :

HS 1 : Les craintes de la conduite automobile ont un impact sur l'utilisation d'un système d'aide à la conduite au travers du degré d'utilisation et de l'expérience avec ces systèmes.

Ainsi, plus une personne craint la conduite automobile, moins la personne utilisera ce système et aura une perception négative de ces systèmes. À l'inverse, moins une personne a des craintes, plus elle utilisera le système et elle aura une perception positive de ces systèmes.

HS 2 : La fréquence d'utilisation d'un système d'aide à la conduite va influencer sur le sentiment de sécurité avec ces systèmes.

Ainsi, plus une personne va utiliser fréquemment un système d'aide à la conduite, plus elle se sentira en sécurité avec le système.

HS 3 : Les expériences positives vécues avec les systèmes d'aide à la conduite encouragent la confiance qu'ont les personnes dans le système.

Plus l'utilisateur va avoir une expérience positive avec un système d'aide à la conduite, plus cela encouragera sa confiance dans ce système.

HS 4 : Le genre influe sur les craintes lors de la conduite et le degré d'utilisation des systèmes.

Puisque les femmes ont tendance à moins conduire, elles auront plus de craintes en conduisant. Si elles ont plus de craintes pour la conduite en générales, alors moins elles utiliseront de systèmes d'aide à la conduite.

HS 5 : L'utilisation d'un système d'aide à la conduite doit proposer un bénéfice précis pour améliorer la tâche de conduite.

Chaque système d'aide à la conduite propose un bénéfice dans la tâche de conduite. Cela est, par exemple, l'aide à la navigation ou un confort lors de la conduite.

HS 6 : La fréquence d'utilisation d'un système d'aide à la conduite encourage la confiance dans le système.

Ainsi, plus l'utilisation d'un système va être fréquente, plus cela va encourager la confiance dans le système d'aide à la conduite.

HS 7 : Le sentiment de sécurité augmente la confiance envers un système d'aide à la conduite.

Ce qui signifie que plus l'utilisateur se sent en sécurité avec un système d'aide à la conduite lorsqu'il conduit, plus il aura confiance dans ce système.

En outre, nous supposons que la connaissance des besoins permet de concevoir une interaction plus optimale pour encourager l'utilisation du système d'aide à la conduite par les personnes vieillissantes. Cette interaction optimale passe par le contenu de l'interface, par exemple, des pictogrammes. Notre seconde hypothèse principale est que si nous connaissons les attentes pour la forme et la couleur des pictogrammes de nos utilisateurs visés, alors nous augmentons les chances d'avoir un système adapté aux besoins et qui supporte la tâche de conduite (H2). En effet, la littérature va dans ce sens en indiquant que cette catégorie de personnes a des attentes spécifiques envers ces technologies informatiques (par exemple pour la taille des boutons d'une application mobile) (Williams et al., 2013). De plus, les interactions actuelles se complexifient. C'est pourquoi elles doivent proposer un message clair à l'utilisateur. Et c'est dans l'interface que ce message apparaîtra. L'optimisation d'une interface passe par l'amélioration de son utilisabilité en facilitant la perception des composantes (exemple, augmenter la taille d'un pictogramme), en simplifiant l'interprétation des composantes avec le langage familier de l'utilisateur et en encourageant l'interaction entre l'utilisateur et le système grâce à des éléments d'action ou un retour d'information (Leung et al., 2011). Si les interfaces sont optimisées, alors elles vont soutenir l'attention du conducteur et éviter toute distraction dans la tâche de conduite (Reimer, 2014). L'affichage doit être simplifié pour les personnes

vieillissantes. Par exemple, un choix de couleurs et une grande taille des éléments permettent de pallier les problèmes de vision des personnes vieillissantes (Davidse, 2006). Les auteurs Leung, McGrenere et Graf proposent d'utiliser dans les interfaces utilisateurs des pictogrammes qui représentent quelque chose de familier ou se rapprochent d'un objet réel connu de l'utilisateur visé. Ces pictogrammes doivent être sémantiquement proches de la fonctionnalité représentée. Et ils doivent être accompagnés d'étiquettes ou encore, être choisis par l'utilisateur lui-même (Leung et al., 2011). Notre hypothèse spécifique qui émerge est que les choix des pictogrammes et des couleurs seront des éléments familiers à notre échantillon de conducteurs vieillissants.

Pour pouvoir répondre à ces hypothèses, un premier objectif doit identifier les perceptions de conduite, les craintes par rapport à la conduite automobile pour cette catégorie de conducteurs, évaluer leur degré d'utilisation ainsi que leurs expériences avec les systèmes d'aide à la conduite. En interrogeant les participants, nous pourrions premièrement acquérir de nouvelles connaissances à la fois sur leurs perceptions et leurs craintes de la conduite automobile à cause des diminutions liées au vieillissement. Le second objectif est de recueillir des données sur le contenu d'interfaces spécifiques pour un système d'aide à la conduite pour qu'il soit adapté à cette catégorie de conducteurs.

En résumé, cette première étude permet de définir les attentes et les besoins des conducteurs vieillissants dans le but de développer un système perçu comme utile et utilisable pour cette catégorie d'utilisateurs.

2.3 Méthode

Comme pour chaque étude qui implique la participation de sujets humains, une demande a été faite auprès du comité d'éthique de la recherche (CER) de

l'université TÉLUQ pour cette première étude. Le certificat éthique transmis par le CER le 27 janvier 2016 était pour une durée d'un an (certificat #2016-206) ([Annexe A](#)).

2.3.1 Participants

L'échantillon était composé de 90 participants. La sélection s'est faite principalement par rapport à l'âge (avoir plus de 55 ans), à la conduite régulière d'une automobile (conduire minimalement deux jours par semaine) et sur l'état de santé général (être exempt d'un handicap gênant la conduite, exempt d'affections neurologiques ou psychiatriques nécessitant la prise de médicaments ou troubles de la vision non corrigés).

Les participants étaient âgés de 55 à 84 ans (âge moyen : 63,41 ans, écart-type : 6,49). La répartition du genre est répartie avec environ une moitié d'hommes (51 %) et l'autre moitié de femmes (49 %). Le Tableau 3 résume les caractéristiques sociodémographiques de recrutement des participants de cette première étude.

Tableau 3 – Détails sociodémographiques des participants

	Nombre	Âge ²¹		Nombre de jours de conduite par semaine ²²		Évaluation de leur état de santé ²³	
		M	É-T	M	É-T	M	É-T
Homme	46	64,3	6,82	6,0	1,37	4,1	0,54
Femme	44	62,5	6,08	5,3	1,46	4,1	1,11
Total	90	63,41	6,49	5,7	1,45	4,1	0,86

M = Moyenne ; É-T = Écart-Type.

²¹ Âge en années.

²² Nombre de jours basé sur une échelle à 8 points allant de 0 à 7 jours.

²³ Évaluation basée sur une échelle en 5 points allant de très satisfait à très insatisfait.

Les participants ont indiqué conduire majoritairement entre six ou sept jours par semaine (65 %) et tous ont déclaré posséder un véhicule personnel. Pour l'état de santé, la majeure partie des participants a indiqué être très satisfaite ou satisfaite de son état de santé (78 %). Aucun n'a rapporté la prise d'un médicament pouvant affecter la conduite automobile.

2.3.2 Matériel

Nous avons conçu une entrevue sous forme de questionnaire pour recueillir les différentes informations. Cet outil a été inspiré de questions provenant de la littérature (Jung & Qin, 2014; Staplin et al., 2012) et d'autres questions qui ont été rédigées par l'auteure.

Vingt-huit questions ont été posées aux participants ([Annexe B](#)). Celles-ci étaient réparties en deux thématiques et six sous-thématiques, et sont présentées ci-dessous.

- 1) Questions sur l'expérience de conduite et la conduite en générale
 - a) Questions relatives aux souvenirs de l'expérience de conduite (questions 1 à 4)
 - b) Questions sur les perceptions et les craintes associées à la conduite automobile (questions 5 à 9 et question 15)
- 2) Questions sur le développement et les attentes d'un système d'aide à la conduite
 - a) Questions sur l'utilisation d'un système d'aide à la conduite (question 10 à 14)
 - b) Questions sur les attentes pour trois types d'interfaces (question 16 à 17)

- c) Questions sur la formation pour un système d'aide à la conduite (questions 18 à 23)
- d) Questions sur les expériences avec les systèmes technologiques (questions 24 à 28)

L'originalité de cette entrevue est le fait de mesurer différents aspects dans un même questionnaire relatif à l'expérience de conduite, allant des craintes vis-à-vis de la conduite automobile, aux usages et attentes des systèmes d'aide à la conduite des conducteurs vieillissants.

2.3.3 Procédure

Pour la réalisation de cette étude, deux expérimentatrices ont recueilli les données lors d'entrevues téléphoniques. Rappelons que cette entrevue a été réalisée trois mois après l'expérimentation des participants dans un véhicule instrumenté sur route ou dans un simulateur de conduite. Chaque appel durait en moyenne 30 minutes. Pour avoir les réponses aux questions des 90 participants, ces derniers ont été contactés à différentes heures de la journée. Ceci permettant de maximiser la participation de notre échantillon et que chaque question puisse être complétée pour limiter les données manquantes. À la suite de cet appel, une compensation financière a été envoyée sous forme de chèque aux participants (15 CAD pour avoir répondu à cette entrevue).

L'entrevue a été créée sur l'outil en ligne Google Forms pour que chaque donnée soit enregistrée sur l'application logicielle en ligne Google Drive lors des appels téléphoniques. Chacune des réponses a été ensuite codifiée et entrée manuellement dans un tableur Excel pour des fins d'analyses statistiques. Ces dernières ont été réalisées grâce au logiciel statistique SPSS (version 25.0).

2.4 Résultats

Dans cette section, nous allons présenter en premier les résultats descriptifs de l'entrevue téléphonique (2.4.1), puis en second nous proposerons les analyses concernant nos hypothèses spécifiques (2.4.2).

2.4.1 Présentations des résultats descriptifs

Pour les fins de la présente étude, seules les questions 5 à 17 et de 24 à 27 ont fait l'objet d'analyses et sont rapportées ici. L'analyse des données et l'interprétation des résultats ont permis d'identifier les perceptions et les craintes associées à la conduite automobile de l'échantillon de conducteurs vieillissants (2.4.1.1). La seconde phase d'analyse a permis d'examiner le degré d'utilisation, la formation et les expériences avec les systèmes d'aide à la conduite (2.4.1.2). Enfin, la troisième phase a permis d'analyser les réponses qualitatives des participants concernant les attentes pour les couleurs et les pictogrammes des interfaces (2.4.1.3).

2.4.1.1 Déterminer les comportements dans des situations de conduite spécifiques

Les questions 5, 6, 7, 8, 9 et 15 concernaient les comportements des participants dans des situations de conduite spécifiques afin de mieux comprendre les situations perçues comme dangereuses par les conducteurs vieillissants. Le Tableau 4 reprend ces questions et les réponses des participants.

Tableau 4 - Les questions et réponses relatives aux craintes et à la sécurité lors de la conduite automobile²⁴

Questions	Réponses (en %)
5. Dans la vie de tous les jours, après avoir conduit quelque temps, quel est votre malaise que vous éprouvez en premier après avoir démarré la conduite ?	27 % = Yeux fatigués
	20 % = Mal de cou
	13 % = Douleur dans les épaules
	3 % = Mal de tête
	37 % = Autre (réponse ouverte)
6. Généralement, avez-vous peur quand vous conduisez ?	90 % = Non 10 % = Oui
7. Si vous avez peur, dans quel type de situation ? (Réponse libre)	<i>Conditions météorologiques ou conduite de nuit</i> <i>Trafic ou conduite en ville</i> <i>Autres conducteurs</i>
8. Quel type de problèmes vous rend le plus anxieux lors de la conduite ?	66 % = Faible acuité visuelle
	30 % = Autre (réponse ouverte)
	3 % = Difficulté de bouger le corps
	1 % = Faible mémoire /= Diminution de l'audition
9. Quel type d'accident routier avez-vous ou craignez-vous d'avoir ?	50 % = Conduite de nuit
	30 % = Changement de voie
	12 % = Toutes ces situations
	8 % = Virage à gauche
15. Selon vous, quelle est la situation la plus à risque ?	39 % = Changement de voie sur route avec plusieurs voies
	33 % = Virages à gauche et intersection panneau céder le passage
	21 % = Insertion sur une route à accès limité avec panneau cédez le passage
	5 % = Virages à gauche et intersection panneau arrêt
	2 % = Virage à droite pour sortir de l'autoroute

²⁴ Les questions 6, 9 et 15 étaient des questions à choix multiples, alors que les questions 5, 7 et 8 contenaient ou étaient des questions ouvertes

Concernant le premier malaise éprouvé après avoir conduit quelque temps, ce sont les yeux fatigués qui sont mentionnés (27 %), suivi du mal de cou (20 %) (question 5). La plupart des conducteurs ont indiqué ne pas avoir peur en conduisant (90 %) (question 6). Pour ceux qui ont peur, les plus nombreux à être rapportés sont la peur du trafic, la conduite en ville ou la conduite de nuit (question 7). Le problème qui rend les participants plus anxieux est la faible acuité visuelle (66 %) (question 8). Dix pour cent des répondants ont indiqué que ce qui les rendait anxieux était la peur des autres conducteurs plutôt que la peur de leur propre incapacité. Concernant les accidents routiers les plus craints, un accident lors de la conduite de nuit (50 %) ou d'un accident lors d'un changement de voie (30 %) sont ceux les plus fréquemment mentionnés (question 9). Ces réponses se confirment avec la situation la plus à risque pour les participants. Le changement de voies sur une route à plusieurs voies est la situation évaluée la plus à risque (39 %), suivie de la situation des virages à gauche à une intersection avec un panneau « cédez le passage » (33 %) (question 15).

Nos résultats indiquent que la vision est la modalité sensorielle la plus redoutée par notre échantillon de conducteurs vieillissants. Comme nous l'indiquions dans la revue de la littérature, la vision est une modalité sensorielle utilisée quotidiennement et nécessaire pour la conduite automobile. De plus, les conducteurs vieillissants sont sensibles à l'apparition de troubles de la vision impactant sur leur conduite automobile (Anstey et al., 2005; Owsley & McGwin, 2010). Nos résultats permettent de confirmer ce constat.

2.4.1.2 Identifier les utilisations et expériences d'un système d'aide à la conduite

Les questions 10 à 14 traitent du degré d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite dans la vie quotidienne. Le Tableau 5 résume ces questions et les réponses des participants.

Tableau 5 - Les questions et réponses relatives au degré d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite pendant la conduite automobile²⁵

Questions	Réponses (en %)
10. Vous sentez-vous en sécurité avec les systèmes d'aide à la conduite actuels (exemples : GPS, régulateur de vitesse, aide au freinage, caméra pour la marche arrière, etc.) ?	48 % = Oui 23 % = Plutôt oui 16 % = Plutôt non 13 % = Non
11. Si non ou plutôt non, pourquoi ne vous sentez-vous pas en sécurité ? (Réponse libre)	<i>Mauvaise conception de l'interface</i> <i>N'est pas utile compte tenu de votre expérience de conduite</i> <i>Manque de confiance envers le système</i>
12. Est-ce que vous utilisez un (ou plusieurs) système(s) d'aide à la conduite dans la vie quotidienne ?	28 % = Quelquefois 24 % = Jamais 18 % = Toujours 17 % = Souvent 13 % = Rarement
13. Quel système utilisez-vous le plus souvent ? (Réponse libre)	<i>GPS</i> <i>Régulateur de vitesse</i> <i>Caméra de recul</i> <i>Aucun</i> <i>Changement de lignes</i> <i>Détecteur angles morts</i>
14. Si vous utilisez ou si vous aviez l'opportunité d'utiliser un système d'aide à la conduite, quels bénéfices souhaiteriez-vous pour votre conduite ?	60 % = Aide pour détecter les usagers vulnérables (cycliste, piéton) 12 % = Aide pour le contrôle de la vitesse 10 % = Aide pour les manœuvres pour se stationner 5 % = Aide dans une intersection avant de tourner 13 % = Autres (réponse libre)

Tout d'abord, s'agissant du sentiment de sécurité avec les systèmes d'aide à la conduite, les participants disent se sentir en sécurité (71 %) (question 10). Pour

²⁵ Les questions 10 et 12 étaient des questions à choix multiples et les questions 11,13 et 14 étaient ou contenaient des questions ouvertes

le quart des participants qui ne se sentent « pas en sécurité », les principales raisons mentionnées sont le fait que le système n'est pas utile, étant donné leur expérience de conduite, que l'interface n'est pas bien conçue ou qu'ils n'ont pas confiance dans le système (question 11).

La question sur la fréquence d'utilisation d'un ou plusieurs systèmes d'aide à la conduite nous indique que 63 % de l'échantillon les utilise toujours, souvent ou quelques fois, contre 37 % qui utilise rarement ou jamais un système d'aide à la conduite (question 12). Concernant cette fréquence d'utilisation, nous avons interrogé les participants ayant répondu toujours, souvent ou quelquefois, quel système ils utilisaient le plus souvent. Le GPS arrive en premier, suivi du régulateur de vitesse (appelé aussi Cruise Control) (question 13).

Enfin, nous avons demandé aux participants quels bénéfices ils souhaitaient tirer quand ils utilisent un système d'aide à la conduite (question 14). Pour la majorité d'entre eux (60 %), c'est une aide pour détecter les usagers vulnérables (cycliste, piéton) qui serait la plus souhaitable.

Ces questions permettent de révéler que les systèmes d'aide à la conduite actuels sont utilisés de manière régulière par les conducteurs vieillissants interrogés. À nouveau, le besoin d'assister la vision des personnes vieillissantes apparaît important, surtout pour la vision périphérique concernant les interactions avec les autres conducteurs ou usagers de la route. Ceci s'expliquerait par la diminution du champ visuel avec l'âge.

Les questions 24 à 28 concernent l'expérience d'usage avec des systèmes, spécifiquement pour la confiance, le respect de la vie privée, le fait d'avoir vécu des expériences négatives et la comparaison avec d'autres technologies

informatiques. Le Tableau 6 présente les questions et les réponses des participants.

Tableau 6 - Les questions et réponses relatives à l'expérience avec les systèmes d'aide à la conduite²⁶

Questions	Réponses (en %)
24. Faites-vous confiance aux informations recueillies par ce type de système ?	46 % = Plutôt oui 39 % = Oui 13 % = Plutôt non 2 % = Non
25. En enregistrant des informations, considérez-vous que le système empiète dans votre vie privée ?	50 % = Non 21 % = Plutôt oui 18 % = Plutôt non 11 % = Oui
26. Lorsque vous testez un nouveau système technologique, est-ce que vous faites référence à d'autres systèmes familiers (téléphone intelligent, tablette, etc.) que vous utilisez déjà pour déterminer votre perception et votre intention de l'utiliser ?	41 % = Plutôt oui 29 % = Oui 18 % = Plutôt non 12 % = Non
27. Avez-vous connu des expériences négatives dans le passé avec un système d'aide à la conduite ?	77 % = Non 23 % = Oui

Pour la confiance, les participants indiquent se fier aux informations recueillies par un système d'aide à la conduite (85 %) (question 24). Une large majorité estime que ce type de système n'empiète pas sur leur vie privée en enregistrant des informations (68 %) (question 25). Lorsque les participants testent un nouveau système technologique, ils se réfèrent bien souvent à d'autres systèmes informatiques familiers (70 %) (question 27). Enfin, pour la plupart des

²⁶ Les questions 24, 25, 26 et 27 sont des questions à choix multiples

participants, ils n'indiquent pas avoir connu d'expérience négative avec les systèmes d'aide à la conduite (77 %) (question 28).

Ainsi, nous pouvons conclure que l'opinion des utilisateurs de notre échantillon envers les systèmes d'aide à la conduite qu'ils ont utilisés est satisfaisante autant pour les informations recueillies que pour le respect de la vie privée. Les systèmes d'aide à la conduite sont considérés comme des technologies informatiques et semblent être comparés à ce type de technologies lors de l'essai d'un nouveau système d'aide à la conduite. Les participants de cette étude semblent plus nombreux à avoir une image positive des systèmes d'aide à la conduite. On constate cependant qu'un quart de l'ensemble des personnes interrogées a indiqué avoir une image négative de ces systèmes.

2.4.1.3 Analyses qualitatives pour la conception d'interfaces

Durant l'entrevue téléphonique, trois questions portaient spécifiquement sur le développement d'interfaces. Ces dernières étaient pour trois types d'événements : une alerte, un renseignement et un conseil. Pour chaque événement, il était demandé aux participants d'indiquer une couleur et un pictogramme.

Premièrement pour l'interface d'alerte, les résultats indiquent que les choix les plus fréquents étaient la couleur rouge (82 %), avec le pictogramme sous la forme triangulaire (33 %) et le pictogramme du point d'exclamation (20 %). D'autres suggestions de pictogramme ont été proposées comme la forme octogonale (forme du panneau d'arrêt), la forme des feux de circulation, une croix, etc.) (Questions 16.a et 17.a).

Deuxièmement pour l'interface d'un conseil, deux couleurs ont été proposées : le jaune (37 %) et le vert (33 %). Les pictogrammes les plus indiqués sont la forme d'un cercle (17 %) et le point d'interrogation (16 %). De manière

individuelle, certaines personnes ont proposé également une ampoule, une bulle d'idée, un nuage, etc. (questions 16.b et 17.b).

Troisièmement pour l'interface de renseignement, le bleu (28 %) et le vert (27 %) sont les couleurs proposées. Les pictogrammes les plus suggérés sont la lettre i (26 %) et la forme carrée (24 %) (questions 16.c et 17.c). Ces trois interfaces nous permettent d'avoir des indications sur les choix de nos personnes vieillissantes pour trois types d'événements.

Peu importe l'événement (alerte, conseil, renseignement), les conducteurs vieillissants souhaitent avoir une interface d'alerte avec un point d'exclamation à l'intérieur d'un triangle rouge, une interface de conseil avec un point d'interrogation dans un cercle jaune et une interface de renseignement avec une lettre i dans un carré bleu.

2.4.2 Présentations des résultats en fonction des tests d'hypothèses

Pour rappel, notre première hypothèse principale est de confirmer si les craintes de la conduite automobile ont un impact sur l'utilisation d'un système d'aide à la conduite au travers du degré d'utilisation et de l'expérience avec ces systèmes. Nous avons donc cherché les liens entre les questions dans la catégorie associée, c'est-à-dire établir les liens entre les questions de la thématique des craintes de la conduite. Puis nous avons cherché des liens entre toutes les questions, peu importe la thématique. Autrement dit, nous avons cherché les liens entre les questions concernant les craintes lors de la conduite et les questions sur le degré d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite.

2.4.2.1 Les craintes associées à la conduite

Tout d'abord, nous présumons que comme les personnes vieillissantes ont des diminutions fonctionnelles avec le vieillissement, alors elles vont craindre plus

certaines situations dans la conduite automobile. Nous avons cherché à vérifier la relation entre les questions concernant les craintes associées à la conduite automobile avec des corrélations de Pearson. Notre première hypothèse spécifique est que si le premier malaise éprouvé lors de la conduite concernait la vision, alors le problème qui rendrait anxieux lors de la conduite serait également en lien avec la vision. Les résultats infirment nos hypothèses entre le premier malaise éprouvé et le problème qui rend anxieux ($r=.21$, $p=.052$, $n=90$). Un malaise éprouvé après avoir débuté la conduite n'est pas lié à un problème plus général induisant une anxiété pendant la conduite. Toutefois, on peut mentionner que le degré de signification pourrait être plus puissant avec un échantillon de participants plus grand.

2.4.2.2 La fréquence d'utilisation d'un système d'aide à la conduite et le sentiment de sécurité lors de la conduite automobile

Nous présumons, dans une seconde hypothèse spécifique, que si les personnes vieillissantes ont une grande fréquence d'utilisation d'un système d'aide à la conduite, alors elles se sentent plus en sécurité avec ces systèmes d'aide à la conduite. Les résultats des analyses corroborent cette hypothèse. La fréquence d'utilisation d'un ou plusieurs systèmes dans la vie quotidienne est liée au sentiment de sécurité avec le système d'aide à la conduite ($r= .48$, $p< .01$, $n=90$). Autrement dit, plus une personne va utiliser le système, plus elle va se sentir en sécurité.

2.4.2.3 Les expériences vécues avec les systèmes d'aide à la conduite encouragent la confiance dans le système

Nous avons cherché à vérifier, dans notre troisième hypothèse spécifique, la relation qui existe entre des expériences vécues avec les systèmes d'aide à la conduite, impliquant les variables suivantes : la confiance, le respect de la vie privée ou encore les expériences négatives vécues avec les systèmes d'aide à la

conduite. Tout d'abord, nous supposons que si les personnes font confiance aux informations recueillies, alors elles devraient considérer que le système n'empiète pas dans leur vie privée. Cette hypothèse n'est pas confirmée ($r=-.20$, $p=.052$, $n=90$)²⁷. Bien que les personnes fassent confiance aux informations recueillies par un système, elles semblent considérer que le systèmeempiète dans leur vie privée. Nous avons voulu vérifier également que si les personnes ont vécu une expérience négative avec un système d'aide à la conduite, c'est qu'elles ne faisaient pas confiance au système. Le résultat infirme l'hypothèse ($r=-.19$, $p=.073$, $n=90$). Donc lorsque les personnes vivent une expérience négative avec un système, cela ne dépend pas de la confiance dans le système.

2.4.2.4 Les craintes lors de la conduite et le degré d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite selon le genre

Notre quatrième hypothèse spécifique concerne l'influence du genre sur les questions de craintes lors de la conduite et sur le degré d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite. Les résultats montrent un lien significatif entre le genre et le type de problèmes qui rend le plus anxieux lors de la conduite ($r= -.23$, $p< .05$, $n=90$). En effet, le tableau croisé (Tableau 7) nous indique que la faible acuité visuelle est le principal problème rendant anxieux lors de la conduite pour la plupart des femmes de notre échantillon.

²⁷ Les corrélations négatives s'expliquent par la codification inversée entre les questions (par exemple, le oui d'une question peut être codé 1 et dans une autre question, il sera codé 2).

Tableau 7 - Tableau croisé de la question 8 et le genre

		Quel type de problèmes vous rend le plus anxieux lors de la conduite ?				Total
		Autre	Faible mémoire	Difficulté de bouger le corps	Faible acuité visuelle	
Genre	Femme	9	0	1	34	44
	Homme	18	1	2	25	46
Total		27	1	3	59	90

Un autre résultat indique un lien significatif entre le genre et l'utilisation d'un (ou plusieurs) système(s) d'aide à la conduite dans la vie quotidienne ($r=.31$, $p<.05$, $n=90$). On constate que les hommes utilisent plus fréquemment les systèmes d'aide à la conduite que les femmes (Tableau 8).

Tableau 8 - Tableau croisé de la question 12 et le genre

		Est-ce que vous utilisez un (ou plusieurs) système(s) d'aide à la conduite dans la vie quotidienne ?					Total
		Jamais	Rarement	Quelquefois	Souvent	Toujours	
Genre	Femme	15	8	11	6	4	44
	Homme	7	4	14	9	12	46
Total		22	12	25	15	16	90

2.4.2.5 L'utilisation d'un système d'aide à la conduite pour un bénéfice précis
 À propos de l'utilisation d'un système d'aide à la conduite, notre cinquième hypothèse spécifique est que si les conducteurs vieillissants sont conscients d'un problème les rendant anxieux (exemple, la diminution de la vision), alors ils vont souhaiter un système qui va les aider à pallier ce problème. Les résultats vont dans ce sens puisqu'on observe une relation significative entre le type de problème qui rend le plus anxieux les personnes vieillissantes et les bénéfices souhaités d'un système d'aide à la conduite ($r=.24$; $p<.05$; $n=89$). Par exemple, les personnes plus nerveuses en conduisant à cause de leur faible acuité visuelle

désirent avoir un système d'aide à la conduite pour les aider à détecter les usagers vulnérables. On peut en déduire que plus les personnes vont avoir des troubles de la vision, plus elles souhaiteront avoir un système qui les soutient pour la détection des angles morts ou d'usagers vulnérables.

2.4.2.6 La fréquence d'utilisation d'un système d'aide à la conduite encourage la confiance dans le système

Pour la fréquence d'utilisation d'un système d'aide à la conduite, notre sixième hypothèse spécifique est que si un conducteur utilise fréquemment un système d'aide à la conduite, alors le conducteur fera plus confiance aux informations recueillies par le système. La corrélation confirme l'existence d'une relation significative entre le degré d'utilisation d'un système et la confiance que le conducteur accordera au système ($r = .40$; $p < .01$; $n = 90$). En effet, les personnes qui utilisent quotidiennement un ou plusieurs systèmes font confiance aux informations recueillies par ce type de système, alors que les personnes qui n'utilisent jamais les systèmes d'aide à la conduite font moins confiance dans les informations recueillies.

2.4.2.7 Le sentiment de sécurité avec un système d'aide à la conduite augmente la confiance

Dans la même logique, nous présumons, dans notre septième et dernière hypothèse spécifique, que si une personne se sent en sécurité avec un système d'aide à la conduite, alors elle va faire confiance au système d'aide à la conduite. Cette hypothèse est confirmée par une corrélation significative ($r = .22$, $p < .05$, $n = 90$). Ce qui signifie donc que plus une personne va se sentir en sécurité avec un système d'aide à la conduite, plus elle va accorder à ce dernier sa confiance dans les informations recueillies par le système.

2.5 Discussion-Conclusion de l'étude 1

Cette première étude était la phase d'analyse pour développer un système d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants. La littérature indique que peu de données scientifiques existent concernant les conducteurs vieillissants et les systèmes d'aide à la conduite. Nous avons donc réalisé une recherche pour avoir une meilleure compréhension de ces conducteurs au Québec et déterminer les facteurs à considérer lors du développement d'un système d'aide à la conduite dans l'objectif d'encourager son utilisation par ce groupe de conducteurs. L'intégration dès le début du processus des conducteurs vieillissants doit permettre de concevoir un système en adéquation avec les besoins et les attentes des conducteurs. Nous avons réalisé des entrevues téléphoniques avec 90 personnes, âgées de 55 à 84 ans, en leur proposant vingt-huit questions réparties en deux thématiques : 1) l'activité de conduite en générale, et 2) le développement et les attentes d'un système d'aide à la conduite. Ainsi, il nous a été possible d'acquérir une base de connaissances sur les conducteurs vieillissants québécois en regard de leur crainte lors de la conduite, le degré d'utilisation, la qualité perçue des expériences avec les systèmes d'aide à la conduite actuels et les besoins des interfaces d'un tel système. Le Tableau 9 résume les résultats des hypothèses spécifiques de cette première étude.

Tableau 9 - Récapitulatif des hypothèses testées dans l'étude 1

Hypothèses Spécifiques (HS)	Énoncé	Résultat	Section dans le texte
HS 1	Relations entre certaines craintes de la conduite automobile	NS (Non Supporté)	2.4.2.1
HS 2	Relation entre l'utilisation et le sentiment de sécurité d'un système	S (Supporté)	2.4.2.2
HS 3	Relation entre les expériences antérieures vécues et la confiance attribuée à un système	NS	2.4.2.3
HS 4 (a)	Relation entre les craintes lors de la conduite automobile et le genre	S	2.4.2.4
HS 4 (b)	Relation entre l'utilisation d'un système et le genre (homme/femme)	S	2.4.2.4
HS 5	Relation entre l'utilisation et le bénéfice souhaité d'un système d'aide à la conduite	S	2.4.2.5
HS 6	Relation entre la fréquence d'utilisation et la confiance du système	S	2.4.2.6
HS 7	Relation entre le sentiment de sécurité et la confiance pour un système	S	2.4.2.7

Pour ce qui est des résultats, concernant les craintes lors de l'activité de conduite, la vision est apparue comme le principal problème des participants de notre échantillon. Plusieurs réponses confirment ce constat dans l'entrevue (questions relatives au malaise éprouvé, à l'anxiété pour ce qui est de la conduite, au type de bénéfice souhaité d'un système). Les résultats obtenus vont dans le même sens que l'étude de Jung et Qin où les 30 participants vieillissants interrogés en Corée du Sud ont indiqué que les maux visuels étaient craints lors de la conduite automobile (Jung & Qin, 2014). Nos résultats permettent donc de confirmer que la vision (centrale et périphérique) est une crainte pour les conducteurs vieillissants interrogés et qu'il faut la considérer lors de la conception d'un système d'aide à la conduite spécifique à ces conducteurs. D'autant plus que les

personnes vieillissantes ont le sentiment que les systèmes d'aide à la conduite ne sont pas suffisamment efficaces pour les protéger du fait que ces systèmes ne prennent pas en compte les diminutions relatives au vieillissement qui les affectent (Reimer, 2014). Enfin, un résultat indique que le genre est relié aux craintes lors de la conduite. Les conductrices vieillissantes semblent avoir des craintes différentes des conducteurs lors de l'activité de conduite, puisqu'elles auraient plus de crainte d'une faible acuité visuelle que les hommes. Par conséquent, une future étude examinant plus en détail les besoins selon le genre pour les systèmes d'aide à la conduite permettrait d'évaluer plus en profondeur ces différences de genre.

Pour le degré d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite, les participants ont indiqué utiliser ce type de systèmes occasionnellement. Une relation significative apparaît entre la fréquence d'utilisation d'un système et le sentiment de sécurité. En d'autres termes, plus une personne va utiliser un système, plus son sentiment de sécurité va augmenter. Ce résultat permet d'appuyer l'idée d'encourager l'utilisation des systèmes d'aide à la conduite. Un autre résultat établit une relation significative entre le genre et l'utilisation d'un système, ce qui veut dire que les hommes utilisent plus souvent un système d'aide à la conduite que les femmes. Dans la littérature, une justification est que les conductrices âgées, qui sont mariées, conduisent moins fréquemment que leur conjoint (Siren & Hakamies-Blomqvist, 2006) et arrêtent de conduire plus tôt que les hommes (Siren et al., 2004). L'arrêt de la conduite peut entraîner une baisse d'intérêt pour les systèmes d'aide à la conduite et donc une plus faible utilisation. Il y a donc une perspective de recherche à envisager concernant la relation entre la confiance et l'utilisation des systèmes d'aide à la conduite selon le genre. Les recherches de Duncan et collègues vont dans ce sens. La confiance acquise par les conducteurs vieillissants envers un système d'aide à la conduite émerge

lorsqu'on présente l'efficacité du système et l'expérience positive lors de son utilisation (Duncan et al., 2015).

Ensuite, les conducteurs vieillissants peuvent remettre en question les systèmes d'aide à la conduite actuellement développés lors d'une expérience négative (Duncan et al., 2015; Reimer, 2014). Peu de conducteurs de notre échantillon ont indiqué avoir vécu des expériences négatives avec les systèmes dans le passé. La grande majorité de l'échantillon n'a pas eu de telles expériences. Les participants ont rapporté se sentir en confiance et n'avaient pas le sentiment que les informations collectées empiétaient dans leur vie privée. Cependant, il faut nuancer ce propos, puisqu'une relation significative a été constatée entre la confiance et la fréquence d'utilisation d'un système. Ce qui signifie que lorsque nos participants disent faire confiance aux systèmes d'aide à la conduite, c'est bien souvent parce que ceux-ci les utilisent quotidiennement. La confiance va encourager le sentiment de sécurité avec un système d'aide à la conduite. Ainsi, plus une personne va utiliser un système d'aide à la conduite, plus elle va lui accorder sa confiance et plus elle se sentira en sécurité. Pour inciter l'utilisation, il faut encourager les personnes à suivre une formation par exemple pour être plus familières au système et avoir une meilleure opinion de ce système (Duncan et al., 2015).

Ces résultats confirment qu'il faut connaître les besoins et les attentes des conducteurs visés lorsqu'on souhaite développer un système informatique, à plus forte raison pour les conducteurs vieillissants. À partir de ces informations (craintes en conduite automobile, le degré d'utilisation et les expériences vécues avec les systèmes d'aide à la conduite), il est possible de déterminer les attentes des conducteurs vieillissants pour la conception d'un système d'aide à la conduite adéquat.

De plus, dans cette étude, nous avons souhaité déterminer les composantes des interfaces pertinentes pour cette catégorie de conducteurs. Au vu de la complexification des interfaces actuelles, ces dernières doivent envoyer un message clair au conducteur (Czaja & Lee, 2002; Reimer, 2014; Williams et al., 2013). Le chercheur Reimer indique que les interfaces doivent être conçues en tenant compte du soutien de l'attention du conducteur et éviter toute distraction dans la tâche de conduite (Reimer, 2014). Il y a également un intérêt à réfléchir aux pictogrammes pour cette catégorie de personnes (Leung et al., 2011). Pour ce faire, nous avons interrogé nos participants sur la couleur et le pictogramme qu'ils aimeraient avoir pour une alerte, un renseignement et un conseil. Nos résultats nous indiquent qu'ils aimeraient des pictogrammes et des couleurs qui sont proches des signalisations existantes dans le code de la sécurité routière. Ce qui confirme notre hypothèse spécifique d'avoir des couleurs et des pictogrammes proches de ce que ces conducteurs connaissent. Ces résultats appuient aussi le fait d'avoir une interface simple, avec des couleurs spécifiques, pour encourager la bonne compréhension des interactions avec le système d'aide à la conduite (Leung et al., 2011; Williams et al., 2013). Ainsi, la connaissance des attentes des conducteurs visés doit permettre la conception d'un système avec des interfaces plus intuitives et moins complexes pour les interactions entre le système et cette catégorie d'utilisateurs.

Quelques limites apparaissent dans cette étude. Premièrement, le fait d'avoir interrogé les participants au travers d'une entrevue téléphonique a des avantages et des limites. Les principaux avantages sont que les participants ont pu expliquer plus en détail leur choix de réponse, que l'entrevue par téléphone permet de connaître les choix des personnes rapidement et que c'est une méthode peu coûteuse en ressources matérielle et humaine. La limite à l'entrevue téléphonique (de type semi-dirigé) est que les questions fermées limitent les choix de réponse des participants. Il apparaît aussi un biais de désirabilité sociale, qui se caractérise

par le fait de répondre aux questions pour satisfaire l'expérimentatrice indépendamment des propres réflexions du participant. Une suggestion de piste de recommandation serait de proposer aux participants de répondre à un questionnaire en ligne sur Internet pour éviter le sentiment de jugement.

Une autre limite est la taille de l'échantillon. Bien que 90 participants y aient répondu, ce questionnaire pourrait être proposé à un échantillon plus grand pour confirmer certaines hypothèses. Une suggestion serait d'encourager les villes ou des compagnies qui s'intéressent au développement de technologies pour les conducteurs vieillissants, à proposer ce type de questionnaire afin de toucher un plus large échantillon.

En conclusion, cette étude a apporté des connaissances sur les comportements de conduite des conducteurs vieillissants québécois, quant à leurs caractéristiques personnelles, leurs attentes d'un système d'aide à la conduite et sur la manière d'optimiser l'interface d'un système d'aide à la conduite pour cette catégorie de conducteurs. Puisque la vision est le principal problème qui concerne les conducteurs vieillissants interrogés, il faut réfléchir à un système qui n'accentuera pas ce type de trouble lors de la conduite automobile. Un travail de recherche futur doit, à partir des résultats obtenus dans cette étude, développer un système physique qui à son tour devra être validé empiriquement par des conducteurs vieillissants. Dans le chapitre suivant, nous présentons une seconde recherche qui va dans ce sens et qui poursuit l'application de la méthode CCU à partir d'une phase de conception et d'une phase d'évaluation d'un prototype de système d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants.

CHAPITRE III

CONCEPTION DU PROTOTYPE AVEC ÉVALUATION EN CONDITION RÉELLE (ÉTUDE EXPÉRIMENTALE 2)

Comme mentionné dans la revue de la littérature, si les conducteurs vieillissants remettent en question le système, alors cela provoquera bien souvent un arrêt de l'utilisation du système. Il est donc important lors de sa conception de s'appuyer sur des données pertinentes pour répondre aux attentes et aux besoins des utilisateurs visés (Reimer, 2014; Simões & Pereira, 2009; Williams et al., 2013). L'étude précédente (étude 1) nous a permis d'acquérir de nouvelles données sur les conducteurs vieillissants québécois et la perception des systèmes d'aide à la conduite actuels. À partir de cette base de données, il est possible de développer un système technologique pour cette catégorie de conducteurs.

Dans le présent chapitre, nous allons expliquer l'usage des données de la première étude pour la phase de conception du système et nous présenterons la phase d'évaluation de ce système faite de manière empirique. Plus précisément, nous allons 1) concevoir un système d'aide à la conduite, et 2) le tester en condition réelle de conduite pour le valider avec un échantillon de conducteurs vieillissants. Pour confirmer la pertinence de notre système, nous avons comparé plusieurs mesures en divisant notre échantillon en deux. Une partie de l'échantillon conduisait avec le système prototype (le groupe expérimental), alors que l'autre moitié de l'échantillon n'avait pas le système prototype pendant la conduite (le groupe témoin). Ce groupe témoin est qualifié de groupe référence

puisque les participants du groupe avaient comme consigne de réaliser une tâche de conduite habituelle.

3.1 Problématique et hypothèses de l'étude 2

Pour rappel, notre hypothèse générale de recherche est qu'un système d'aide à la conduite correspond aux attentes lorsqu'il est développé avec les participants visés et lorsqu'il est conçu de manière ergonomique en aidant les conducteurs à partir d'interaction pertinente et persuasive. Il est important de garder à l'esprit que le succès ou l'échec d'un système d'aide à la conduite réside dans une conception ergonomique, et que celle-ci doit prendre en compte les conducteurs visés (Pauzie, 2013).

Actuellement, plusieurs voitures récentes sont équipées de différents systèmes d'aide à la conduite qui visent à faciliter certaines tâches de conduite. Ces différents systèmes sont une aide potentielle pour les personnes vieillissantes, mais il faut que ces systèmes soient utiles et acceptés pour qu'ils puissent les aider. Les personnes vieillissantes ont leur propre problème d'utilisabilité avec les systèmes informatiques (Fisk et al., 2009) et ont des attentes qui diffèrent par rapport à d'autres catégories d'utilisateurs (Williams et al., 2013). L'utilisation d'un système d'aide à la conduite se vérifie sur la base de la familiarité et sur l'opinion générale de ce système (Duncan et al., 2015). C'est pourquoi la première hypothèse principale de cette étude est que si un conducteur vieillissant possède un système d'aide à la conduite, alors il sera plus familier avec ce système et aura une opinion plus positive de celui-ci (H1) qu'un conducteur qui n'en possède pas. Nos hypothèses spécifiques sont :

HS 1 : Le conducteur devrait avoir une plus grande familiarité avec les systèmes d'aide à la conduite qu'il possède.

Ainsi, si un conducteur possède un système d'aide à la conduite, alors il sera plus familier avec ce système.

HS 2 : Le conducteur qui possède un système d'aide à la conduite devrait avoir une meilleure opinion de ce système.

Si le conducteur possède un système d'aide à la conduite, alors il aura une bonne opinion de celui-ci.

HS 3 : Le conducteur qui est familier avec un système aura une meilleure opinion de celui-ci.

Ce qui signifie que plus un conducteur est familier avec un système d'aide à la conduite, plus il a une opinion positive du système.

HS 4 : Le conducteur qui est familier avec un système d'aide à la conduite aura une bonne l'opinion, sachant qu'il possède ce système.

Ainsi, si le conducteur possède un système d'aide à la conduite, alors il sera plus familier avec et aura une opinion positive du système.

HS 5 : La possession des systèmes d'aide à la conduite dépend de la fréquence d'utilisation des différentes technologies informatiques.

Une fréquence plus élevée étant associée au fait de posséder des systèmes d'aide à la conduite.

D'après les chercheurs Simões et Pereira, une mauvaise conception d'un système d'aide à la conduite entraîne une complexité de la tâche de conduite et des risques d'accident. Le système devient alors une gêne pour les personnes vieillissantes,

alors que le rôle de ce type de système est de favoriser la sécurité et la mobilité du conducteur qui l'utilise (Davidse, 2006; Simões & Pereira, 2009). Pour valider la conception d'un système, il faut que ce système n'augmente pas la charge mentale du conducteur ni n'accroisse la distraction en fournissant trop d'informations (Eby & Molnar, 2014; Kim & Dey, 2009). La charge mentale est un bon prédicteur dans l'évaluation d'un nouveau système d'aide à la conduite (Schneegass et al., 2013). Notre seconde hypothèse principale est donc que le système que nous avons conçu n'augmente pas la charge mentale du conducteur (H2). Comme l'indique la littérature (Schneegass et al., 2013), il s'agit de vérifier que les variables du climat et de la période de la journée n'ont pas d'impact sur la mesure de la charge mentale. Nos hypothèses spécifiques sont :

HS 6 : Le système évalué n'augmente pas les mesures de la charge mentale objective (la température cutanée et l'activité électrodermale) selon les deux groupes.

Ce qui signifie que le groupe expérimental, qui évalue le système, n'a pas une charge mentale supérieure au groupe témoin, mesurée par la température cutanée et l'activité électrodermale.

HS 7 : Les dimensions de l'échelle NASA-TLX ont été évaluées de manière identique entre les deux groupes.

Le groupe expérimental n'a pas de charge mentale subjective supplémentaire lorsqu'il conduit avec le système d'aide à la conduite que le groupe témoin qui conduira sans le système.

HS 8 : Il existe un effet entre les moyennes de la charge mentale objective et les moyennes de la charge mentale subjective selon les deux groupes.

Peu importe le groupe (expérimental ou témoin), la moyenne de la charge mentale objective sera plus faible que la charge mentale subjective.

Les tests utilisateurs permettent d'évaluer un système et de vérifier la crédibilité de celui-ci (Castillejo et al., 2013). C'est ce qui a été démontré dans la recherche de Reimer, Mehler et Coughlin. Les participants ont pu mieux saisir les avantages et les limites du système (Reimer et al., 2010). Notre troisième hypothèse principale est si nous réalisons des tests avec notre système en condition réelle, alors le système va être évalué plus positivement grâce à une meilleure compréhension des notifications²⁸ et une plus grande confiance que la personne va placer dans le système (H3).

Pour répondre à ces hypothèses, nous proposons de concevoir une application mobile intégrant trois interfaces à partir des résultats retenus dans la première étude (3.2), puis de valider le prototype en condition réelle en recueillant plusieurs mesures objectives et subjectives (3.3).

3.2 Phase de conception du matériel

Pour faire suite à l'utilisation de la méthode CCU, la seconde étape correspond à la création d'un système prototype s'appuyant sur des données issues de la population d'utilisateurs. Si on connaît les caractéristiques et les attentes des utilisateurs visés, alors les interactions entre le système et l'utilisateur seront plus simples et permettront une meilleure compréhension des notifications du système vers l'utilisateur. Nous avons pris en compte cet aspect pour nous assurer du bon

²⁸ Par le terme notification, nous entendons la présentation d'une information en temps réel à l'utilisateur pour signaler un événement.

fonctionnement de notre prototype dans son ensemble, c'est-à-dire le système physique sélectionné et l'application mobile pour la présentation des interfaces.

Nous allons présenter en premier le choix du système d'affichage tête haute (3.2.1), puis nous présenterons chacune des applications avec leur forme, le développement et l'utilité visée (3.2.2). Enfin, nous décrivons le choix d'utilisation de la technique du magicien d'Oz pour les évaluations en conditions réelles (3.2.3).

3.2.1 Choix du système d'affichage tête haute

Pour la conception du système physique, nous avons utilisé les résultats recueillis dans l'étude 1, c'est-à-dire les réponses des conducteurs vieillissants pour les craintes envers la conduite automobile en lien avec les diminutions liées à l'âge. Les résultats nous indiquent que la vision est mentionnée comme une des principales craintes lors de l'activité de conduite automobile. Dans la littérature, la chercheuse Pauzié indique que les principaux bénéficiaires des systèmes à affichage tête haute sont les personnes vieillissantes à cause de leur champ de vision plus restreint (Pauzie, 2015). Le système d'affichage tête haute est généralement utilisé pour limiter les regards en dehors de la scène routière en transmettant l'information directement dans le champ de vision du conducteur, ce qui permet de réaliser la tâche de conduite sous contrôle (Liu & Wen, 2004; Tufano, 1997). L'étude de Tretten, Gärling, Nilsson et Larsson a indiqué que l'usage d'un système d'affichage tête haute était apprécié par les participants puisqu'il était facile d'utilisation (Tretten et al., 2011). En regard de nos résultats dans notre étude 1 et de la littérature, nous avons sélectionné un système d'affichage tête haute comme choix de système à valider avec les conducteurs vieillissants.

Le système que nous avons utilisé dans le cadre de notre recherche est le système HudwayGlass (Figure 8). Ce système est composé d'un support pour le téléphone et d'une lame plastique teintée recouverte d'un revêtement miroir pour refléter l'écran du téléphone. Notre intérêt pour ce système est que n'importe quel conducteur peut se le procurer en l'achetant sur le site web de la compagnie²⁹. Cet accessoire a deux avantages. Le premier est la mobilité du système pouvant être utilisé dans tous les véhicules non équipés d'un système d'affichage tête haute. Et le second avantage est l'utilisation du système avec n'importe quel téléphone intelligent et la possibilité d'avoir une application mobile conçue pour ce type d'affichage.

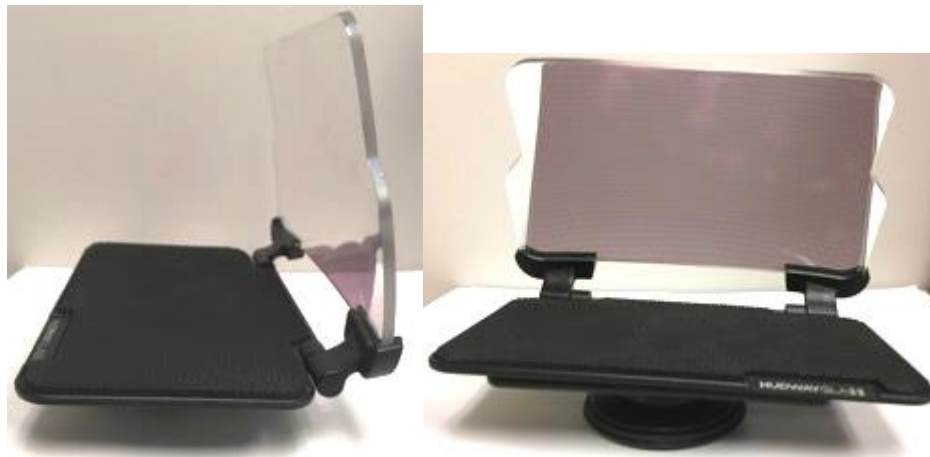


Figure 8 - Système HudwayGlass

²⁹ Récupéré du site internet le 13 janvier 2019 : <https://hudwayglass.com/>

La compagnie HudwayGlass propose des applications mobiles spécifiques, mais pour notre recherche nous avons souhaité développer notre propre application mobile, qui s'appuie sur les résultats de la première étude.

3.2.2 Conception de l'application mobile

Nous avons nommé cette application « AR-Driving Assistant ». Cette application mobile a été divisée en deux sous-applications. La première présente les informations au conducteur alors que la seconde sous-application permet la collecte de données et le contrôle des notifications envoyées au conducteur (Ruer, Ferreira, Gouin-Vallerand, & Vallières, 2017).

Si on revient plus en détail sur la première sous-application, elle projette l'information au conducteur au travers de l'interface. L'objectif étant de fournir les notifications de conduite, soit sous la forme d'une alerte, de conseil et d'un renseignement sur la conduite. De plus, ces notifications ont pour but de soutenir les conducteurs vieillissants dans leur conduite automobile.

Pour rappel, les choix de pictogrammes sont importants lors de la conception d'interfaces de technologies informatiques (Leung et al., 2011). C'est pourquoi nous avons demandé à nos participants le choix d'une couleur et d'un pictogramme pour trois types d'évènements. Pour l'interface d'alerte, les choix les plus fréquents étaient la couleur rouge avec le pictogramme sous la forme triangulaire et le pictogramme du point d'exclamation. Ensuite, pour l'interface du conseil, la couleur jaune a été la plus mentionnée par les conducteurs vieillissants et les pictogrammes mentionnés sont la forme d'un cercle et le point d'interrogation. Enfin, pour l'interface de renseignement, c'est le bleu associé aux pictogrammes de la lettre i et d'un carré. À partir de ces résultats, les interfaces choisies sont présentées dans la Figure 9.



Figure 9 - Interfaces de la première sous-application de notre application mobile AR-Driving Assistant

Les notifications de conduite sont transmises en temps réel au conducteur. Cette sous-application comprend une interface pour démarrer l'application, une interface de personnalisation (sélection de l'âge, du genre et d'un avatar) et une interface pour chaque type de notifications (alerte, conseil, renseignement). Enfin, cette première application a été construite à partir du logiciel Unity et a été configurée pour fonctionner sur un téléphone Android dans le cadre de notre étude.

Pour la seconde sous-application, l'objectif est de contrôler la première sous-application en collectant des données durant la conduite à des fins d'analyse. L'application est composée d'une vue de défilement contenant plusieurs boutons, dont une boîte de dialogue, pour configurer et démarrer la surveillance du capteur (Figure 10).

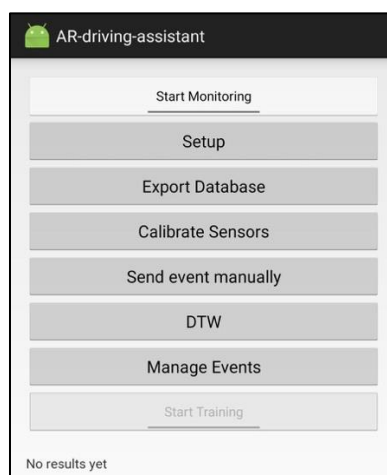


Figure 10 - Interface de la seconde sous-application

Cette application a été développée sur le logiciel Android Studio. Le code d'application est disponible sur le site web GitHub (<https://github.com/limvillef/AR-driving-assistant>). Chacun des boutons et des fonctionnalités de la seconde sous-application est présenté dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Fonctionnalités de la seconde sous-application

Type de bouton	Fonctionnalités
« Démarrer la surveillance » (<i>Start Monitoring</i>)	Permet de déclencher ou d'arrêter la surveillance du capteur
« Configuration » (<i>Setup</i>)	Ouvre une boîte de dialogue à deux champs dont le champ ID (utilisateur actuel) utilisé lorsque les données de chaque capteur sont enregistrées, puis le second est le champ d'adresse IP Android, qui est utilisé pour communiquer avec un téléphone Android
« Exportation de la base de données » (<i>Export Data base</i>)	Permet d'exporter le contenu de la base de données en tant que fichier Json vers le périphérique, dans le sous-dossier AR-driving-assistant une fois le périphérique redémarré
« Calibration des capteurs » (<i>Calibrate Sensors</i>)	Utilisé pour calibrer le capteur d'accélération linéaire en plaçant l'appareil sur une surface plane

Type de bouton	Fonctionnalités
« L'envoi d'événement manuellement » (<i>Send Event Manually</i>)	Choisir le type d'événement, le message à afficher et l'envoyer. Ce bouton a été conçu pour appliquer la technique de simulation du magicien d'Oz.
« Déformation temporelle dynamique » (<i>DTW pour Dynamic Time Warping</i>)	Ouvre une boîte de dialogue qui permet de sélectionner les capteurs à utiliser pendant le processus de déformation temporelle dynamique
« Gérer les événements » (<i>Manage Events</i>)	Répertorie tous les événements de formation dans la base de données et permet de supprimer tous les événements ou un événement spécifique
« Démarrer l'entraînement » (<i>Start Training</i>)	Permet de créer un nouvel événement d'entraînement. Il n'est disponible que si l'option Démarrer la surveillance est activée

Cette seconde sous-application a également été développée en réalité augmentée et être utilisée avec des lunettes Microsoft Hololens. Comme nous réalisons des tests utilisateurs en conditions réelles de conduite, nous n'avons pas utilisé cette fonction pour des raisons éthiques. Cette option est à considérer dans le futur pour évaluer la réalité augmentée avec les personnes vieillissantes lors de tests de conduite dans un simulateur de conduite.

La communication entre les deux applications s'effectuait grâce à une connexion TCP. La seconde sous-application est conçue pour fonctionner avec la première sous-application et ne peut être utilisée que lorsque la première sous-application est prête à recevoir et envoyer des données.

Pour résumer, la première sous application présente les informations au conducteur au travers d'interfaces et la seconde sous-application permet de contrôler les notifications et de collecter des données.

3.2.3 Utilisation de la technique du Magicien d'Oz

Les deux sous-applications fonctionnent conjointement et nous avons souhaité vérifier cette collaboration dans notre étude. C'est au travers de la commande

« Gérer les évènements » (dans la seconde sous-application) que nous évaluerons les interfaces (première sous-application) auprès des conducteurs vieillissants.

Puisque les conducteurs vieillissants sont prudents et respectueux du code de la sécurité routière (Charlton et al., 2006), et que nous souhaitons évaluer les interfaces dans le système d'affichage tête haute, nous avons mis sur pieds un scénario proposant six notifications sur le parcours routier (c'est-à-dire une notification aux 7 minutes environ). La réalisation de ce scénario a pour objectif d'occasionner l'envoi de notifications en temps réel. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser la technique de simulation en Magicien d'Oz (Figure 11).

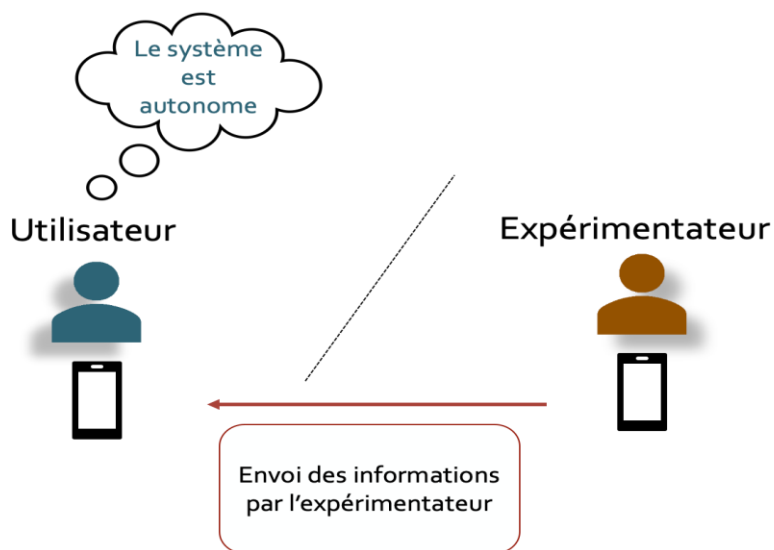


Figure 11 - Méthode du magicien d'Oz

Cette technique est couramment utilisée dans la conception des IHM (Dahlbäck, Jönsson, & Ahrenberg, 1993). Son but est de collecter des données comportementales dans un contexte proche de celui du futur système et de connaître les réactions des utilisateurs face au système. La méthode est simple, il s'agit de contrôler à distance l'interface du système pour faire croire au

participant que le système fonctionne de manière indépendante. Le participant n'est pas informé de l'utilisation de la technique du magicien d'Oz lors du test, il ne l'est qu'après la réalisation de l'étude pour éviter tous biais. Enfin, certains chercheurs indiquent que l'usage de la technique de simulation du magicien d'Oz permet d'augmenter les chances d'adoption du système (Buisine & Martin, 2005).

Après avoir présenté le matériel de l'étude, nous justifions comment nous avons procédé à son évaluation avec un échantillon de conducteurs vieillissants québécois.

3.3 Phase d'évaluation

Comme cette étude implique la participation de sujets humains, une demande a été formulée auprès du CER de l'université TÉLUQ. Le certificat éthique, transmis par le CER le 5 mai 2017, est valide pour une durée d'un an (certificat #2017-233) ([Annexe C](#)).

Nous décrivons dans cette section la sollicitation des participants (3.3.1), puis le choix des tests utilisateurs en conditions réelles (3.3.2) et la procédure mise en place (3.3.3). Enfin, nous présentons les différentes mesures utilisées dans les tests (3.3.4).

3.3.1 Sollicitation des participants

L'échantillon étant de convenance, nous avons d'abord contacté des personnes ayant déjà participé à des recherches en sécurité routière à la TÉLUQ et qui avaient mentionné leur intérêt à participer à nouveau dans une recherche en sécurité routière. Celles-ci ont été sollicitées par courriel ou par téléphone. Comme le nombre de volontaires était faible, nous avons diffusé des annonces sur Internet. En premier, par l'intermédiaire du journal électronique de

l'université TÉLUQ (Le Carrefour) et par un communiqué de presse de l'université TÉLUQ repris par deux journaux en ligne : Montréal Gazette et Hebdo Rive Nord.

À la suite de ces annonces, des participants potentiels nous ont contactés avec le souhait de participer à l'étude. Ils ont été contactés par téléphone pour répondre à des questions afin de s'assurer qu'ils répondaient aux critères de sélection. Pour cette seconde étude, les critères étaient d'avoir 60 ans ou plus, détenir un permis de conduire valide, conduire chaque semaine régulièrement et être en bonne santé. Le choix de ces critères de recrutement découle de notre objectif de recherche de développer un système pour cette catégorie de conducteurs qui possèdent une large expérience de conduite. Concernant la sélection par l'âge, dans la première étude, le choix a été fait de concert avec le bailleur de fonds, alors que dans cette seconde étude, nous nous sommes basés sur la référence d'âge pour le vieillissement de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2018)³⁰.

Avant l'étude, deux participants de 60 ans et plus ont réalisé des prétests dans le courant du mois de mai 2017. Le but était d'ajuster les instruments de la collecte de données (questionnaires) et vérifier les outils technologiques (capteurs, application mobile, etc.). Des modifications ont été apportées aux questionnaires avant et après la conduite pour la formulation de certaines questions.

Lors des tests utilisateurs, 39 participants ont été recrutés, mais seulement 34 ont pris part à la recherche. Cinq participants se sont désistés quelques jours avant leur passation pour diverses raisons (perte d'intérêt pour l'étude, problème avec leur véhicule personnel, problème de santé, etc.). Il convient de mentionner

³⁰ Récupéré le 13 janvier 2019 du site internet : <http://www.who.int/topics/ageing/fr/>

qu'aucun participant n'a pris part à l'étude 1 (c'est-à-dire l'entrevue téléphonique) présentée dans cette recherche. Les expérimentations se sont déroulées sur une durée de 15 jours au mois de juin 2017.

L'échantillon était composé de personnes ayant entre 60 et 85 ans (âge moyen : 68,8 ans, écart-type : 5,91). Les participants étaient 20 hommes et 14 femmes (n=34).

Tous les participants parlaient le français ou étaient bilingues anglais-français. Tous les participants possédaient un véhicule personnel et un permis de conduire valide. Presque la moitié conduisaient régulièrement tous les jours (47 %) (moyenne jours par semaine : 5 jours ; écart-type : 1,7). De plus, les participants ont indiqué majoritairement rouler sur une autoroute (53 %) ou sur des routes de ville (38 %). Les participants se sont dit en bonne ou très bonne santé (94 %). La vaste majorité des participants (77 %) ont dit prendre des médicaments quotidiennement, mais aucun de ces participants n'a indiqué que les médicaments pouvaient altérer la conduite automobile (aucun effet secondaire connu).

3.3.2 Conduite réelle

Comme le mentionnent les chercheurs Solovey et al., les expérimentations en laboratoire avec un simulateur permettent d'étudier des scénarios en contrôlant certaines variables tandis que les expérimentations en conditions réelles permettent de valider les variables avec des facteurs dynamiques provenant du contexte de conduite (Solovey et al., 2014). Nous avons choisi de réaliser nos expérimentations en conditions réelles puisque le matériel nous le permettait et ainsi de bénéficier d'un recueil de données plus cohérent avec la réalité de conduite automobile de nos participants.

Le trajet allait de Repentigny (Québec) jusqu'à la ville de Lanoraie (Québec). Plus précisément, les participants entraient sur l'autoroute 40 Est à la sortie 100 de Repentigny (point GPS 45° 44'32.9 » N 73° 27'09.3 » W) jusqu'à la sortie 130 de Lanoraie (point GPS 45° 58'50.4 » N 73° 16'21.6 » W). À la sortie 130, ils faisaient demi-tour pour revenir sur l'autoroute 40 Ouest et ainsi retourner au point de départ. La distance de ce parcours est de 63 kilomètres et se réalisait en 40 minutes environ.

Nous justifions notre choix de route, car nous souhaitions que les participants roulent sur une autoroute avec peu de trafic, ceci afin de permettre une meilleure évaluation de notre système et une reproductibilité du scénario utilisé pour nos expérimentations. De plus, ce trajet ayant été testé dans des conditions identiques et sans problème majeur lors d'une précédente recherche en sécurité routière³¹, il nous est apparu tout à fait approprié d'utiliser ce trajet à nouveau pour la présente recherche. Enfin, la conduite sur autoroute est connue pour ne pas augmenter la charge mentale, contrairement à une route en milieu urbain, en raison de la présence de moins d'éléments perturbateurs (exemples : piétons, véhicules stationnés, signalisation). Nous avons également évité en autant que possible les heures de pointe (8 h-9 h) et (16 h-17 h) pour le trafic occasionné (Schneegass et al., 2013).

Enfin, nous avons choisi la ville de Repentigny puisque nous avons obtenu la collaboration de l'aréna de Repentigny pour pouvoir placer le Laboratoire mobile en Informatique Mobile et Villes Intelligentes (LIMVI) sur leur stationnement. Le LIMVI est un véhicule récréatif transformé pour permettre des

³¹ Vallières, E. et Ruer, P. (2017) Évaluation de l'impact de deux systèmes d'aide à la conduite embarqués pour l'évitement de situations à risque et l'adoption d'une conduite plus sécuritaire dans un véhicule instrumenté, Rapport de recherche FCAA-TÉLUQ.

expérimentations. Ce véhicule a l'avantage de pouvoir se déplacer à un endroit stratégique et y accueillir des participants. Le laboratoire est divisé en deux espaces de travail, l'un pour les tests utilisateurs (pouvant accueillir 4-5 participants à la fois) et l'autre comme un espace de travail pour les expérimentateurs grâce à un équipement de plusieurs serveurs et capteurs. Pour cette étude, le LIMVI nous a permis de faire remplir les questionnaires aux participants et de supporter le travail des chercheurs (connectivité réseau, alimentation électrique, etc.).

3.3.3 Procédure

Lors de son arrivée sur le parking de l'aréna Repentigny, le participant était invité à entrer dans le laboratoire mobile LIMVI pour lire et signer le formulaire de consentement ([Annexe D](#)), puis lire et signer le formulaire d'autorisation du droit à l'image ([Annexe E](#)) et enfin, répondre au premier questionnaire concernant ses habitudes de vie, sa santé et ses expériences avec les systèmes d'aide à la conduite ([Annexe F](#)).

Une fois ces documents complétés, le participant était invité à monter dans le véhicule instrumenté LISA (Figure 12). Ce dernier est un véhicule de marque Nissan, modèle Versa 2008, 1,8 S avec boîte de vitesse automatique. Plusieurs équipements informatiques ont été installés à l'intérieur afin de permettre le suivi en temps réel de la tâche de conduite.

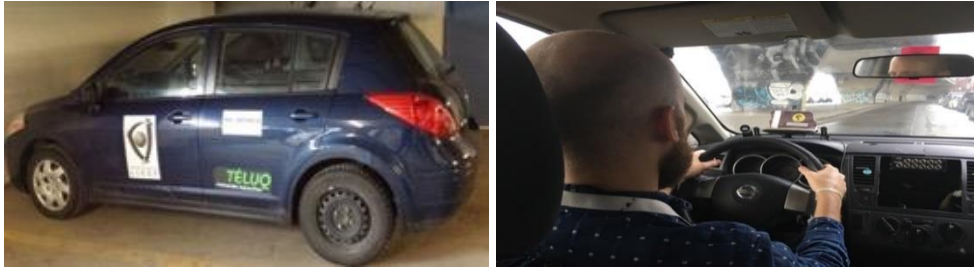


Figure 12 - Le véhicule instrumenté LISA et ses installations intérieures

Une fois dans le véhicule, l'expérimentateur expliquait au participant les éléments nécessaires pour ne pas gêner la conduite avec le véhicule (la caméra qui le filmait dans l'angle, les capteurs sur la main gauche, le système testé et la ventilation pour plus de confort). L'enregistrement vidéo a été fait pour compléter ou vérifier les informations recueillies par l'expérimentateur durant le trajet. Cet enregistrement n'a pas servi à des fins d'analyse. Deux capteurs étaient placés sur la main gauche pour mesurer la conductivité électrodermale et la température cutanée. Les capteurs sont sans gêne pour la conduite. Ces deux mesures permettent de mesurer la charge mentale du conducteur de manière objective pendant la conduite automobile. L'expérience durait environ 1 h 30 dans son ensemble.

Avant de démarrer, l'expérimentateur indiquait oralement comment l'expérimentation se déroulerait (limite de vitesse à respecter, trajet emprunté, placement de l'expérimentateur en arrière du véhicule). Le participant devait quitter l'Aréna de Repentigny pour se rendre sur l'autoroute. Une portion de route était en ville entre l'aréna et l'autoroute. Nous avons utilisé cette période comme un temps d'habituation pour le participant avec les capteurs. De plus, cette période permettait à l'expérimentateur de vérifier le bon fonctionnement et la bonne collecte des données avec les capteurs. Puis, le participant entrait sur l'autoroute 40 Est (direction Trois-Rivières - Québec) pour réaliser l'expérience.

À la fin de la conduite, une portion de route était à nouveau en ville entre l'autoroute et l'aréna. Une fois revenu au parking et stationné, le participant devait répondre à la première partie du deuxième questionnaire avant de descendre du véhicule. Il s'agissait de la traduction française de l'échelle NASA-TLX pour évaluer la charge cognitive ([Annexe G](#) et [Annexe H](#)).

À la fin du questionnaire NASA-TLX, le participant était invité à quitter le véhicule LISA pour se rendre dans le laboratoire mobile LIMVI. De là, il répondait à la deuxième partie du questionnaire concernant leur expérience de conduite ([Annexe G](#) et [Annexe H](#)). Avant de quitter le laboratoire mobile, chaque participant recevait un reçu et la compensation financière de 30 CAD en argent comptant. La Figure 13 permet de synthétiser le déroulement des expériences pour cette étude.

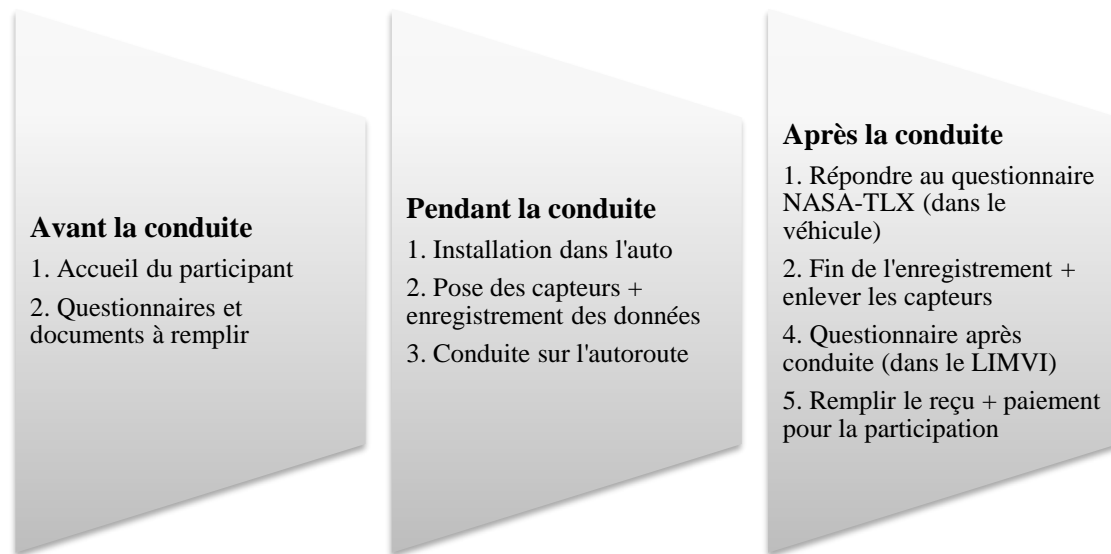


Figure 13 - Résumé du déroulement de l'expérimentation

Lors des expérimentations, deux groupes ont été constitués. Un groupe expérimental et un groupe témoin. Les deux groupes étaient composés de 17

participants chacun. Ces derniers étaient répartis de manière aléatoire et au hasard dans un des deux groupes. La différence entre ces deux groupes était que le groupe expérimental conduisait avec le système d'affichage tête haute tandis que le groupe témoin conduisait sans. Le questionnaire avant conduite et les mesures des capteurs étaient communs pour les deux groupes. Seul le questionnaire après la conduite était différent entre les groupes.

3.3.4 Mesures utilisées

Comme nous l'avons vu dans la revue de la littérature, la charge mentale peut être mesurée de différentes façons (objective, subjective ou par la performance). La mesure de performance n'a pas été sélectionnée puisqu'elle peut entraîner des collisions ou accidents lors de la conduite en condition réelle. Pour notre étude, nous avons sélectionné des mesures objective (3.3.4.1) et subjective (3.3.4.2).

3.3.4.1 Mesures objectives

Concernant la mesure objective, nous avons retenu deux types de mesures pour recueillir la charge mentale. Le premier type est l'activité électrodermale qui permet la mesure de l'activité électrique des muscles du corps humain. Et le second type est la température cutanée du corps humain. Ces deux mesures permettent l'évaluation de la charge mentale du conducteur (Schneegass et al., 2013). Notre hypothèse principale est que si la charge mentale des conducteurs est élevée alors la température cutanée ou l'activité électrodermale seront élevées lors de la conduite. Des études connexes (Collet et al., 2014; Schneegass et al., 2013; Shi et al., 2007) viennent confirmer que les mesures biométriques employées dans notre travail (l'activité électrodermale ou avec la température cutanée) supportent cette hypothèse.

Pour faire le recueil des mesures d'activité électrodermale et de température cutanée, nous avons utilisé les capteurs biométriques Captiv' Solutions³². Ces capteurs s'accrochent sur du ruban auto grippant pouvant être placés à différents endroits du corps. Par exemple, autour du poignet ou du coude. Chaque capteur pèse 20 grammes, mesure 52 mm x 25 mm x 14 mm. Leur fréquence d'échantillonnage est de 32 Hz avec une résolution de 16 bits et 0.05 °C. Le nombre de données prélevées est de 1920 par minute pour chaque capteur. Ces capteurs sont reliés à un boîtier sans-fil. L'avantage de ces capteurs est la flexibilité du matériel pour faire des mesures selon n'importe quel contexte grâce à la modalité sans fil. De plus, un logiciel est proposé pour synchroniser et afficher les données en temps réel, puis pour enregistrer les données recueillies et effectuer les analyses par la suite.

Nous avons installé les deux capteurs sur les doigts et le poignet de la main gauche des participants. Le placement des capteurs peut occasionner une légère gêne, mais il n'empêche pas la préhension du volant ou l'exécution de gestes de conduite avec la main droite. Celle-ci reste disponible pour l'utilisation du sélecteur de vitesse automatique (Démarrer, Reculer ou Position neutre) ou l'ajustement de la ventilation dans le véhicule (air conditionné ou chauffage) (Clarion, 2009). Pour être certains que le dispositif soit bien accroché, nous avons utilisé du ruban médical adhésif pour accrocher les fils à la main. Cela était sans douleur pour le participant (Figure 14).

³² Captiv'Solutions est un produit de la compagnie TEA-Ergonomie (Nancy, France).



Figure 14 - Placement des capteurs sur la main gauche du participant

Nous avons complété notre mesure objective de la charge mentale avec des mesures subjectives présentées ci-après.

3.3.4.2 Mesures subjectives

3.3.4.2.1 *Le questionnaire avant l'expérience de conduite*

Le questionnaire avant l'expérience est composé de neuf pages divisées en trois sections. La première partie comprend dix-sept questions qui portent sur les variables sociodémographiques, la deuxième partie avec trois questions pour les variables de santé et la troisième partie qui inclue trente-sept questions concernant l'expérience des participants relatives aux systèmes d'aide à la conduite. Ces dernières questions ont été inspirées d'une recherche multidisciplinaire menée pour le département des transports de Floride (Duncan et al., 2015) ([Annexe F](#)).

3.3.4.2.2 *Les informations relevées pendant la conduite*

Un relevé papier-crayon a été réalisé par l'expérimentateur placé en arrière du véhicule concernant l'activité de conduite. Les dimensions relevées étaient le trafic sur la voie, les ralentissements, les dépassements du conducteur et des autres conducteurs.

3.3.4.2.3 *Les questionnaires après l'expérience de conduite*

Le questionnaire NASA-TLX a été répondu dans le véhicule juste après la conduite. Nous avons utilisé la version francophone du NASA-TLX proposée par Cegarra et Morgado, puisque cette présente recherche concerne des personnes vieillissantes québécoises. Tous nos participants y ont répondu (Cegarra & Morgado, 2009). En premier lieu, le participant a évalué les six dimensions (exigence mentale, exigence physique, exigence temporelle, efforts, performance et frustration) sur des échelles allant de faible à élevé. Nous avons proposé une définition pour chacune des dimensions pour nous assurer de la bonne compréhension du participant. Par exemple, la définition de l'exigence mentale était « Avoir besoin de beaucoup d'attention et de concentration » et la question était « À quel point le fait de conduire avec le système était exigeant mentalement ? ». En second lieu, le participant a procédé à une phase de comparaison et devait choisir parmi deux dimensions citées par l'expérimentateur à voix haute. Par exemple : « indiquez la dimension qui exigeait le plus d'effort pendant votre conduite entre l'exigence mentale ou la performance ».

Enfin, le participant répondait au questionnaire d'après conduite. Celui-ci était différent selon le groupe de référence (expérimental ou témoin). Pour le groupe expérimental, le questionnaire était composé de vingt-sept questions inspirées des critères de Bastien et Scapin et de Lee et Coughlin (Bastien & Scapin, 1993; Lee & Coughlin, 2015) pour évaluer l'expérience de conduite avec le système testé dans le véhicule. Un exemple de question était « Avez-vous trouvé le système utile ? » avec quatre choix de réponses (oui, plutôt oui, plutôt non, non).

Et pour le groupe témoin, le questionnaire était composé de dix questions développées par l'auteure et d'un questionnaire provenant du site Internet de

l'Association Canadienne des Automobilistes (CAA)³³ composé de quinze questions pour évaluer la conduite. Un exemple de question était « Considérez-vous utile de développer un système d'aide à la conduite pour les personnes de 60 ans et plus ? » avec quatre choix de réponses : oui, plutôt oui, plutôt non, non. Ces questionnaires sont présentés dans les annexes [G](#) et [H](#).

3.4 Résultats

Pour rappel, les participants ont été répartis au hasard soit dans le groupe témoin (expérience de conduite sans le système), soit dans le groupe expérimental (expérience de conduite avec le système). Le groupe témoin (N=17) était composé de 11 hommes et 6 femmes. L'âge moyen était de 69,53 ans (écart-type de 6,35 ans). Le minimum était de 60 ans et le maximum de 85 ans. Le groupe expérimental (N=17) était composé de 8 hommes et 9 femmes. L'âge moyen était de 68 ans (écart-type de 5,52 ans). Le minimum était de 60 ans et le maximum de 81 ans. Les femmes étaient un peu plus âgées en moyenne que les hommes, elles étaient aussi moins nombreuses à participer. Ce sont les hommes qui utilisaient plus fréquemment leur véhicule par semaine (5-6 fois par semaine contre 3-4 fois pour les femmes). L'état de santé est évalué bon par l'ensemble des participants ; bien que jugé un peu plus satisfaisant par les femmes que par les hommes. Les résultats descriptifs concernant l'échantillon de cette étude sont présentés dans le Tableau 11.

³³ Récupéré du site internet le 13 janvier 2019 : <https://www.caa.ca/fr/conducteurs-ages/evaluer-ses-competences-en-matiere-de-conduite/>

Tableau 11 - Résultats descriptifs des participants

		Nb	Âge ³⁴		Nb de fois d'utilisation du véhicule par semaine ³⁵		Évaluation de leur état de santé ³⁶	
			M	É-T	M	É-T	M	É-T
			Groupe Témoin	Homme	11	69,00	4,54	4,27
	Femme	6	70,50	9,27	4,17	0,98	4,67	0,55
	Total	17	69,53	6,35	4,24	0,90	4,41	0,51
Groupe Expérimental	Homme	9	68,00	6,52	4,00	1,12	3,89	0,60
	Femme	8	68,00	4,60	3,63	1,19	4,63	0,52
	Total	17	68,00	5,52	3,82	1,13	4,24	0,66

Nb=Nombre ; M=Moyenne ; É-T =Écart-Type

Nous allons présenter les analyses selon les expériences des participants avec les systèmes d'aide à la conduite existants (3.4.1), puis les résultats de la charge mentale (3.4.2) suivis des résultats après l'expérience pour le groupe expérimental (3.4.3).

3.4.1 Analyses des expériences avec les systèmes technologiques

Afin d'évaluer notre système d'aide à la conduite, il était important de savoir si les participants étaient confortables avec les systèmes d'aide à la conduite existants ainsi qu'avec les autres technologies informatiques. Nous avons donc interrogé notre échantillon sur la possession (3.4.1.1), la familiarité (3.4.1.2) et l'opinion avec les systèmes d'aide à la conduite existants (3.4.1.3). Puis nous les

³⁴ Âge en années.

³⁵ Nombre d'utilisation du véhicule sur une échelle à 5 points allant de 0 à 7 fois et plus par semaine.

³⁶ Évaluation de l'état de santé sur une échelle à 5 point allant de très bon à très mauvais.

avons interrogés sur leur usage quotidien d'autres technologies informatiques (3.4.1.4).

3.4.1.1 L'équipement du véhicule avec les systèmes d'aide à la conduite

Dans un premier temps, nous avons évalué la possession d'équipement de système d'aide à la conduite dans le véhicule de nos participants. Ceux-ci avaient trois choix de réponse : oui, non ou je ne sais pas. Les systèmes proposés étaient le GPS, le radar de recul (c.-à-d. un système de caméras pour la vision arrière), le régulateur de vitesse (aussi appelé cruise control), le détecteur des angles morts, le système de stationnement automatisé, le détecteur des piétons/cyclistes, le système de freinage automatique, le régulateur de vitesse adaptatif et le détecteur des lignes sur la route.

Parmi ces systèmes, nous présentons en premier les résultats généraux. Le régulateur de vitesse est arrivé en tête comme équipement dans les véhicules de nos participants (88 %). Il est suivi du système GPS (intégré ou non dans leur tableau de bord) et du système de radar de recul (41 % chaque). S'en suivent le système de freinage automatique (26 %), le régulateur de vitesse adaptatif (18 %), le système de détection des angles morts (12 %) et le système de détection des piétons ou des cyclistes (6 %). Enfin, aucun participant ne possède un système de stationnement automatisé ou un système de détection des lignes au sol (Figure 15).

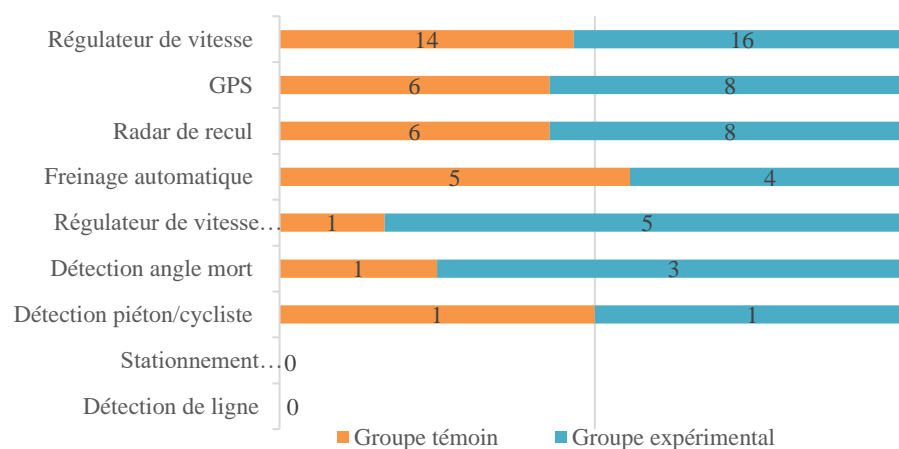


Figure 15 - Répartition de la possession des systèmes d'aide à la conduite selon le groupe (témoin et expérimental)

Le régulateur de vitesse, le GPS et le radar de recul sont les systèmes les plus possédés. La possession de système est très proche selon les groupes à l'exception du régulateur de vitesse adaptatif et du détecteur d'angle mort que les participants du groupe expérimental sont plus nombreux à avoir.

3.4.1.2 La familiarité avec les systèmes d'assistance à la conduite

Dans un deuxième temps, nous avons demandé aux participants de préciser leur familiarité avec ces mêmes systèmes. Les choix de réponse étaient les suivants : pas certain de connaître le système, pas du tout familier, un petit peu familier, assez familier et très familier.

Pour les résultats globaux, le régulateur de vitesse (68 %), le GPS et le radar de recul (41 % chaque) sont les trois systèmes avec lesquels les participants ont indiqué être très familiers. Les systèmes qui sont moins familiers ou pas du tout familiers aux participants sont le système de stationnement automatique, le détecteur des usagers vulnérables (cycliste ou piéton), le régulateur de vitesse

adaptatif (68 % chaque) et le système de freinage automatique (47 %). Nous présentons l'ensemble des choix de réponses dans la Figure 16.

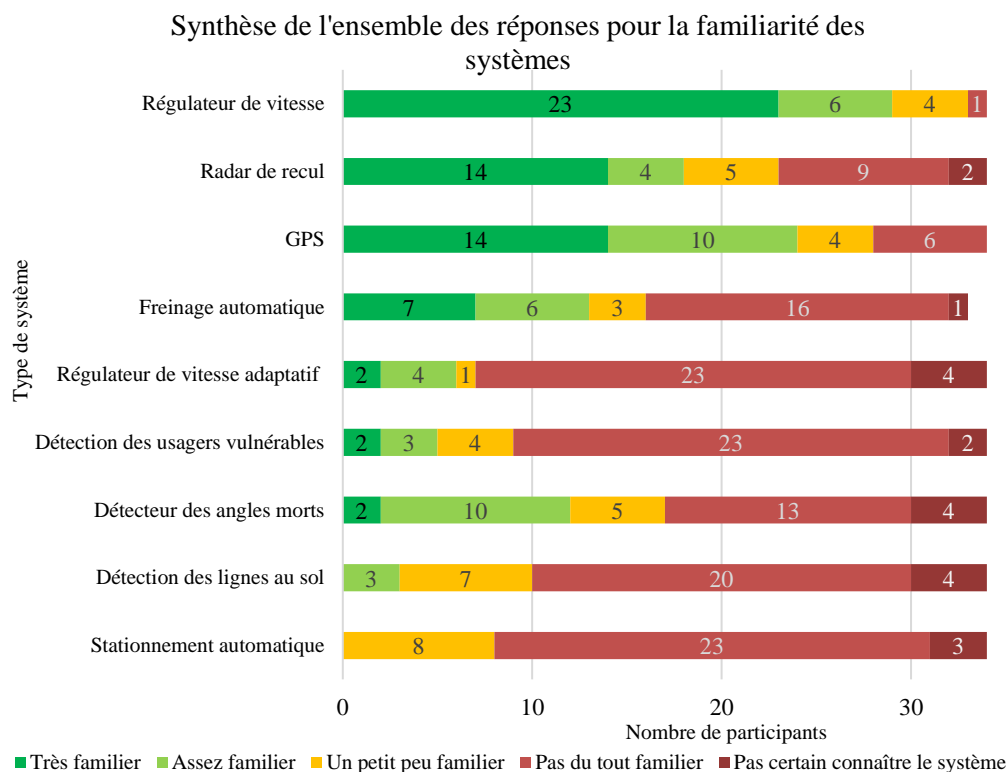


Figure 16 - Niveau de familiarité par système selon les participants (N=34)

Ce sont le régulateur de vitesse, le radar de recul et le GPS pour lesquels les participants se disent le plus familier.

3.4.1.3 L'opinion générale avec les systèmes d'assistance à la conduite

Dans un troisième temps, les participants ont indiqué leur opinion sur les systèmes d'aide à la conduite présentés précédemment. À nouveau, les participants avaient un choix parmi six réponses : une opinion très positive, un peu positive, neutre, un peu négative, très négative et n'a pas d'opinion.

Le régulateur de vitesse (76 %), le GPS (65 %), le radar de recul (56 %), le détecteur d'angle mort (56 %) sont les systèmes les plus appréciés par la majorité ou la moitié de l'échantillon, suivi du système de freinage automatique (44 %), de la détection des usagers vulnérables (44 %), de la détection des lignes au sol (35 %), du régulateur de vitesse adaptatif (23 %) et du stationnement automatique (21 %). Nous avons représenté les résultats pour chaque système à la Figure 17.

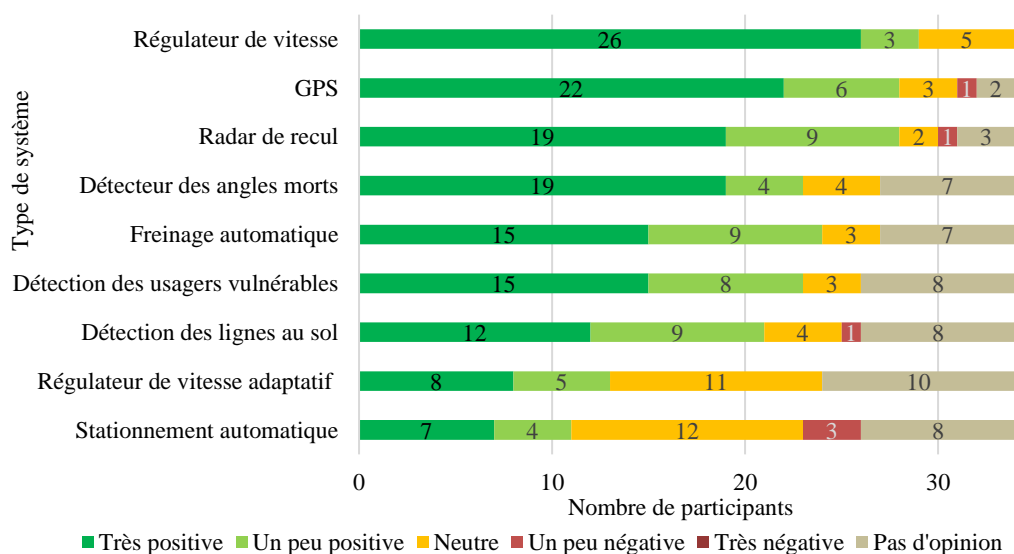


Figure 17 - Opinion des participants concernant les systèmes d'aide à la conduite (N=34)

En résumé, les systèmes les plus communs dans les véhicules sont plus appréciés que les systèmes plus récents.

Après avoir analysé les réponses relativement à l'opinion générale des systèmes, il convient d'étudier l'existence ou non de relations entre le fait de posséder un système, la familiarité et l'opinion envers ce système.

3.4.1.4 Relations entre la possession, la familiarité et l'opinion d'un système d'aide à la conduite

Nous supposons qu'il existe un lien entre la possession, la familiarité et l'opinion d'un système d'aide à la conduite (Duncan et al., 2015). Notre hypothèse est que si une personne possède un système d'aide à la conduite, alors elle va être plus familière avec et aura donc une opinion plus positive de ce système. Pour ce faire, nous avons réalisé en premier des corrélations de Pearson bivariées, puis en second des corrélations de Pearson partielles.

Tout d'abord pour les corrélations, nous avons cherché dans notre première hypothèse spécifique à vérifier la relation existe entre le fait de posséder un système et la familiarité qu'on a avec. Le Tableau 12 présente les résultats de ces corrélations.

Tableau 12 – Corrélations entre la possession et la familiarité avec un système d'aide à la conduite

Système	Corrélation	Valeur P	Nombre
GPS	.37	.05*	N=34
Détecteur d'angle mort	.38	.05*	N=34
Radar de recul	.69	.001**	N=34
Stationnement automatique	/	/	/
Détection d'usagers vulnérables	.38	.05*	N=34
Régulateur de vitesse	.45	.01**	N=34
Freinage automatique	.66	.001**	N=34
Régulateur de vitesse adaptatif	.76	.001**	N=34
Détection de lignes au sol	/	/	/

L'absence de résultats pour la détection de lignes au sol se justifie par le fait que les participants ont tous répondu ne pas posséder et ne pas être familier avec ce type de système. À la vue des autres résultats significatifs, nous pouvons en déduire que le fait d'avoir un système dans son véhicule va avoir une influence sur la familiarité avec ce système. En d'autres termes, avec la pratique, le

conducteur va acquérir des connaissances du système qui lui permettront d'être plus confortable lors de l'utilisation de celui-ci.

Ensuite, nous avons vérifié une seconde hypothèse spécifique entre le fait de posséder un système et l'opinion qu'on aura de celui-ci. Les résultats sont présentés dans le Tableau 13.

Tableau 13 - Corrélations entre la possession et l'opinion générale avec un système d'aide à la conduite

Système	Corrélation	Valeur P	Nombre
GPS	.33	.055 (n.s)	N=34
Détecteur d'angle mort	.17	.35 (n.s)	N=34
Radar de recul	.36	.05*	N=34
Stationnement automatique	/	/	/
Détection d'usagers vulnérables	.13	.46 (n.s)	N=34
Régulateur de vitesse	.45	.01**	N=34
Freinage automatique	.24	.19 (n.s)	N=34
Régulateur de vitesse adaptatif	.23	.20 (n.s)	N=34
Détection de lignes au sol	/	/	/

Les résultats nous indiquent des corrélations significatives pour les systèmes radar de recul et régulateur de vitesse. Ce qui signifie que les conducteurs qui possèdent un système radar de recul ou régulateur de vitesse auraient une opinion plus positive de ce système. Pour le système GPS, on observe une tendance qui pourrait se confirmer si l'échantillon était constitué de participants supplémentaires. Autrement, notre hypothèse est infirmée pour les autres systèmes.

En dernier lieu, la troisième hypothèse spécifique est entre la familiarisation avec un système et l'opinion que les personnes en auront. Cette hypothèse se confirme pour les systèmes GPS, détecteur d'angle mort, radar de recul, régulateur de vitesse et freinage automatique. Ce qui signifie que lorsqu'un conducteur est familier avec un de ces systèmes, il aura une opinion positive du système. Le Tableau 14 présente ces résultats.

Tableau 14 - Corrélations entre la familiarité et l'opinion générale avec un système d'aide à la conduite

Système	Corrélation	Valeur p	Nombre
GPS	.54	.001 **	N=34
Détecteur d'angle mort	.39	.05*	N=34
Radar de recul	.51	.005**	N=34
Stationnement automatique	.19	.27 (n.s)	N=34
Détection d'usagers vulnérables	.21	.24 (n.s)	N=34
Régulateur de vitesse	.62	.001**	N=34
Freinage automatique	.56	.001**	N=34
Régulateur de vitesse adaptatif	.30	.08 (n.s)	N=34
Détection de lignes au sol	.29	.10 (n.s)	N=34

Enfin, nous avons effectué des corrélations partielles entre le fait d'être familier et l'opinion générale, sachant la possession du système d'aide à la conduite. Autrement dit, notre quatrième hypothèse spécifique est que si un conducteur est familier avec un système (par exemple le GPS), alors il aura une opinion plus positive du système, sachant qu'il le possède dans son véhicule. Les corrélations partielles sont présentées dans le Tableau 15 ci-dessous.

Tableau 15 - Corrélations partielles entre la familiarité et l'opinion générale avec un système d'aide à la conduite, tenant compte de la possession du système

Système	Corrélation	P-value	Nombre
GPS	.47	.01*	N=34
Détecteur d'angle mort	.36	.05*	N=34
Radar de recul	.39	.05*	N=34
Stationnement automatique	/	/	/
Détection d'usagers vulnérables	.17	.34 (n.s)	N=34
Régulateur de vitesse	.57	.001**	N=34
Freinage automatique	.55	.001**	N=34
Régulateur de vitesse adaptatif	.20	.26 (n.s)	N=34
Détection de lignes au sol	/	/	/

Les résultats de ces corrélations partielles montrent que même si les coefficients sont légèrement moins élevés que les coefficients des corrélations bivariées, ils restent significatifs. En d'autres mots, ces résultats suggèrent que le simple fait

d'être familier avec certains systèmes, peu importe qu'on en possède ou non, fait en sorte qu'on a une meilleure opinion de ces systèmes.

Après l'étude de la possession, la familiarité et l'opinion de certains systèmes d'aide à la conduite, nous nous sommes intéressés à la fréquence d'utilisation d'autres technologies informatiques.

3.4.1.5 La fréquence d'utilisation des technologies informatiques

Dans la dernière partie du questionnaire, les participants ont indiqué la fréquence d'utilisation de différents systèmes informatiques. Les participants avaient six choix de réponses : utilisation quotidienne, utilisation une ou quelques fois par semaine, utilisation une ou quelques fois par mois, utilisation quelques fois par an, jamais utilisé ou ne connaît pas, parmi neuf technologies informatiques (ordinateur, tablette tactile, téléphone cellulaire, courriel, Internet, appareil photo, boîte vocale, guichet bancaire et GPS).

Les résultats indiquent que les technologies les plus utilisées dans la vie quotidienne de nos participants sont l'ordinateur (88 %), les courriels (88 %) et Internet (85 %) (score total de 5,8/6 pour ces trois systèmes informatiques). On retrouve ensuite l'usage quotidien du téléphone cellulaire (65 %, score : 5,2/6), la boîte vocale du téléphone (50 %, score : 5,2/6), le guichet bancaire (41 %, score : 5,1/6) et la tablette tactile (35 %, score : 4/6). Les technologies suivantes sont utilisées de manière plus dissemblable, l'appareil photo est utilisé quelques fois par semaine (23 %, score : 5,3/6), tout comme pour le système GPS (23 %, score : 4/6). Ces deux derniers appareils semblent être moins utilisés du fait que leur fonction respective n'est pas utile au quotidien. La Figure 18 présente la synthèse des réponses des participants.

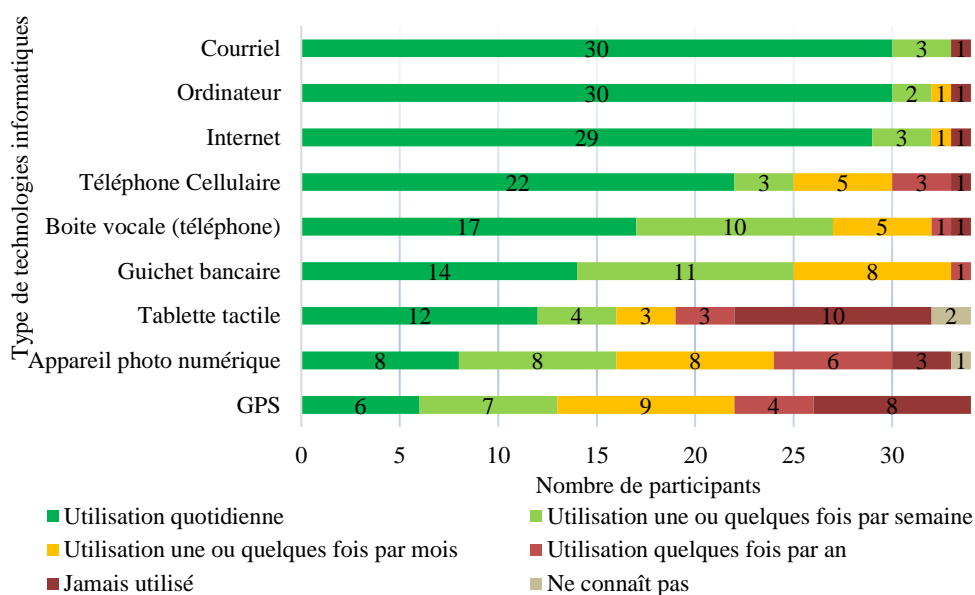


Figure 18 - Fréquence d'utilisation des technologies informatiques par les participants

Pour résumer, l'ordinateur, les courriels, Internet et le téléphone cellulaire sont les technologies informatiques les plus fréquemment utilisées par les participants de notre échantillon.

Nous supposons qu'il existe un lien entre le fait de posséder un système d'aide à la conduite et la fréquence d'utilisation de diverses technologies informatiques. Nous avons vérifié l'hypothèse spécifique suivante : si une personne utilise fréquemment un système informatique, alors elle possède un (ou plusieurs) système d'aide à la conduite. Les résultats soutiennent cette hypothèse pour la possession d'un régulateur de vitesse avec la fréquence d'utilisation de l'ordinateur ($r=.36$, $p<.05$, $n=34$), avec la fréquence d'utilisation du cellulaire ($r=.39$, $p<.05$, $n=34$) ou avec la fréquence d'utilisation de l'Internet ($r=.34$, $p<.05$, $n=34$). Aussi, on retrouve une relation significative entre la possession du GPS et la fréquence d'utilisation de la tablette tactile ($r=.54$, $p<.001$, $n=34$). Ce qui signifie que le fait d'avoir un système d'aide à la conduite, notamment le

régulateur de vitesse, est lié à la fréquence d'utilisation des différentes technologies informatiques.

Enfin, la dernière question de notre questionnaire était de savoir si le participant trouvait une nouvelle technologie facile à utiliser, par exemple l'utilisation du dernier cellulaire ou tablette. Ce sont 62 % des participants qui étaient tout à fait d'accord ou d'accord avec cette affirmation.

3.4.1.6 Résumé fin de section

Pour évaluer l'utilisabilité d'un nouveau système d'aide à la conduite, nous avons vérifié que les participants étaient confortables avec des systèmes d'aide à la conduite actuels. Pour ce faire, nous avons demandé aux participants s'ils possédaient plusieurs systèmes d'aide à la conduite, s'ils étaient familiers avec ceux-ci et quelle était leur opinion générale à l'égard de ces systèmes. Les résultats ont indiqué une relation significative entre à la fois la possession, la familiarité et l'opinion de certains systèmes d'aide à la conduite, notamment pour le régulateur de vitesse, le radar de recul et le GPS. Une limite est apparue lors des analyses. Il est possible que la puissance des coefficients de certaines corrélations aurait été plus forte si l'échantillon était composé d'un plus grand nombre de participants. Une prochaine étude doit aller dans ce sens et confirmer nos présentes hypothèses. Nous avons également mesuré la fréquence d'utilisation de différentes technologies informatiques. Il existe une relation significative entre le fait d'avoir un système d'aide à la conduite (régulateur de vitesse par exemple) et la fréquence où les personnes vont utiliser les différentes technologies informatiques (ordinateur, téléphone cellulaire ou courriels). Les hypothèses testées dans cette section sont présentées dans le Tableau 16.

Tableau 16 - Récapitulatif des hypothèses testées dans l'étude 2

Hypothèses Spécifiques	Énoncé	Résultat	Section dans le document
HS 1	Possession -> Familiarité systèmes d'aide à la conduite	S	3.4.1.4
HS 2	Possession -> Opinion systèmes d'aide à la conduite	S	3.4.1.4
HS 3	Familiarité -> Opinion	S	3.4.1.4
HS 4	Familiarité -> Opinion (sachant la possession des systèmes d'aide à la conduite)	S	3.4.1.4
HS 5	Possession des systèmes d'aide à la conduite -> Fréquence d'utilisation des différentes technologies informatique	S	3.4.1.5

En conclusion, une vaste majorité de nos participants possédaient des systèmes d'aide à la conduite et plus globalement, ils avaient l'habitude d'utiliser des technologies informatiques. Ces conditions sont donc favorables pour l'évaluation de notre système d'affichage tête haute.

3.4.2 Comportement des conducteurs à l'égard du système selon la charge mentale

Un de nos objectifs de recherche a été de proposer un système d'aide à la conduite pour favoriser une conduite sécuritaire des conducteurs vieillissants et d'évaluer si ce système correspond aux attentes des conducteurs en condition réelle de conduite. Pour répondre à cet objectif, nous avons réalisé des expérimentations en conditions réelles sur route. Le participant devait conduire le véhicule instrumenté LISA. Selon son groupe de référence, le participant était réparti au hasard dans le groupe témoin (conduite sans le système) ou dans le groupe expérimental (conduite avec le système). De plus, avant de démarrer la conduite, l'expérimentateur plaçait des capteurs biométriques (température cutanée et activité électrodermale) sur les doigts de la main gauche du participant pour mesurer sa charge mentale objective. À la fin de la conduite, le participant répondait à l'échelle NASA-TLX pour évaluer sa charge mentale subjective. La charge mentale a été relevée pour les deux groupes de manière objective (3.4.2.1) et de manière subjective (3.4.2.2). Puis, une comparaison entre ces deux mesures de la charge mentale a été réalisée (3.4.2.3).

3.4.2.1 Comparaison objective

Dans un premier temps, nous avons analysé les données de la charge mentale objective pour les deux groupes (témoin et expérimental) au moyen de la température cutanée et de l'activité électrodermale.

Lors de la conduite, chaque groupe avait une période d'habituatation avec le véhicule instrumenté avant d'entrer sur l'autoroute. Pour nos analyses, nous avons retiré les données de cette période ainsi que celles de la période après avoir quitté l'autoroute. La raison est que ces deux périodes se déroulaient en ville où des biais (feux de circulation, trafic plus dense, présence de piétons) pouvaient apparaître dans notre recueil de données.

Pour le groupe témoin, nous avons fait la moyenne de la conduite sur l'autoroute, tandis que pour le groupe expérimental, nous avons fait la moyenne de la conduite sur l'autoroute en enlevant les notifications envoyées par le système (6 au total par participant). Ce qui signifie que les notifications pouvaient engendrer des pics ³⁷ (augmentation soudaine et significative) dans les données biométriques mesurées lorsqu'il y avait une interaction entre le système et l'utilisateur. Notre interprétation est que ces fluctuations seraient directement liées à une augmentation de la charge mentale. C'est pourquoi nous avons réalisé une analyse statistique en retirant les pics engendrés dans les données mesurées. Le choix de retirer ces pics est justifié pour pouvoir comparer de manière égale les moyennes de la charge mentale des deux groupes.

Nous avons fait une analyse descriptive des moyennes de température cutanée et d'activité électrodermale sans notification. Puis une analyse descriptive des moyennes avec les notifications. Ces analyses concernent le groupe expérimental uniquement qui a évalué le système. Les résultats descriptifs nous ont permis de confirmer l'existence d'une différence entre les moyennes des participants pour les deux mesures recueillies. Le Tableau 17 présente ces moyennes.

Tableau 17 - Comparaison des moyennes avec ou sans notification du système du groupe expérimental

Capteurs	Température cutanée		Activité électrodermale	
	M	É-T	M	É-T
Moyenne sans les notifications	31,82	2,03	3,52	2,86
Moyenne avec les notifications	31,81	2,02	3,51	2,86

M=Moyenne ; É-T=Écart-Type

³⁷ Dans un graphique, le pic est la partie aigüe d'une courbe correspondant à un maximum.

Il n'y a pas de différence majeure entre les moyennes, ce qui justifie à nouveau que les notifications générées dans le système ne semblent pas avoir entraîné de la charge mentale selon les mesures de température cutanée et d'activité électrodermale.

Le Tableau 18 présente les résultats descriptifs de la température cutanée et de l'activité électrodermale des participants pour chaque groupe.

Tableau 18 – Statistiques descriptives pour la température cutanée et l'activité électrodermale selon le groupe

		Groupe témoin	Groupe expérimental
Température cutanée	Moyenne	30,88 °C	31,81 °C
	Écart-type	2,94 °C	2,03 °C
	Minimum	24,01 °C	28,99 °C
	Maximum	34,65 °C	35,65 °C
Activité électrodermale	Moyenne	2,20 µS	3,52 µS
	Écart-type	1,56 µS	3,31 µS
	Minimum	0,31 µS	0,23 µS
	Maximum	6,62 µS	10,57 µS

Bien que proches, les résultats des moyennes de température cutanée pour les participants du groupe témoin sont inférieurs à celle des participants du groupe expérimental (30,88 °C³⁸ contre 31,81 °C). La boîte à moustache (Figure 19) nous permet de constater un écart faible entre les deux groupes. On constate une plus grande variabilité pour le groupe témoin que pour le groupe expérimental. Pour la mesure maximum, la température ambiante a eu un impact sur quatre des participants lors de la journée d'expérimentations. La température était de 29

³⁸ Unité en degrés celsius

degrés Celsius avec un ressenti de 38 degrés Celsius³⁹, ce qui a altéré la mesure de l'activité électrodermale (Bari et al., 2018).

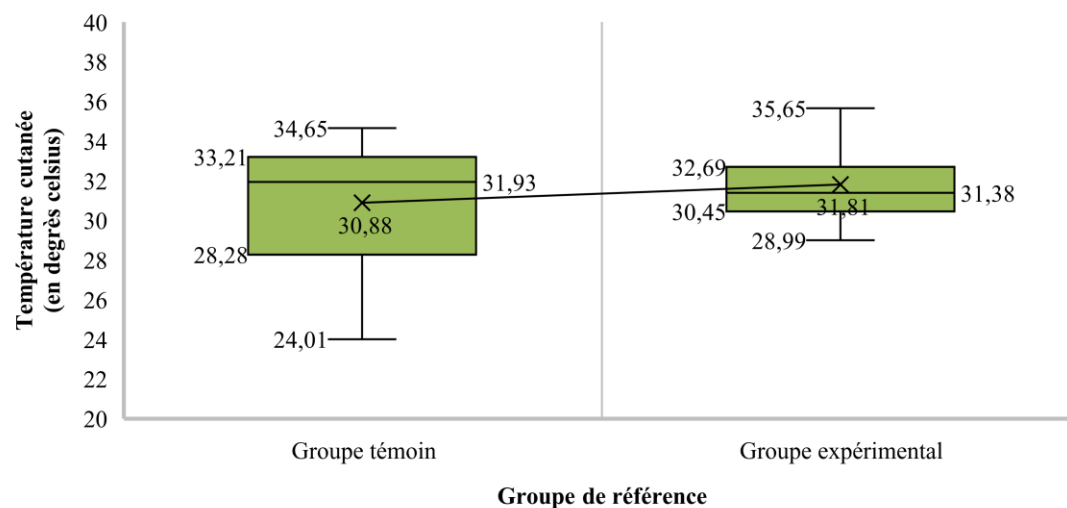


Figure 19 - Données descriptives de la température cutanée selon le groupe de référence

Pour l'activité électrodermale, la moyenne est également inférieure pour le groupe témoin que pour le groupe expérimental ($2,20 \mu S$ ⁴⁰ contre $3,52 \mu S$). Nous pouvons constater grâce à la boîte à moustache que les écarts de l'activité électrodermale sont plus importants pour les participants du groupe expérimental (Figure 20).

³⁹ Tableau récupéré le 13 janvier 2019 :

http://climat.meteo.gc.ca/climate_data/hourly_data_f.html?hlyRange=1994-09-07%7C2019-01-12&dlyRange=1930-01-01%7C2019-01-12&mlyRange=1930-01-01%7C1994-12-01&StationID=5237&Prov=QC&urlExtension=_f.html&searchType=stnProv&optLimit=specDate&StartYear=2017&EndYear=2017&selRowPerPage=25&Line=79&Month=6&Day=12&stProvince=QC&timeframe=1&Year=2017

⁴⁰ Unité en micro-siemens

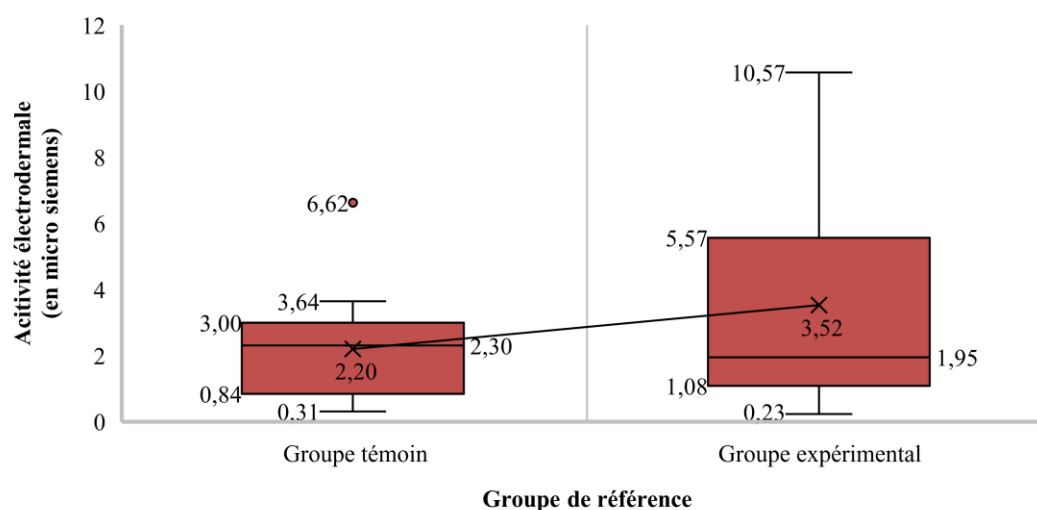


Figure 20 - Données descriptives de l'activité électrodermale selon le groupe de référence

Nous avons également étudié la charge mentale selon le genre. Pour la température cutanée, la moyenne des femmes est plus élevée (groupe témoin : 31,87 °C ; groupe expérimental : 32,36 °C) que celle des hommes (groupe témoin : 31,05 °C ; groupe expérimental : 31,32 °C) (Tableau 19).

Tableau 19 - Statistiques descriptives pour la mesure de la température cutanée (en degré Celsius)

		Groupe témoin	Groupe expérimental	Total
Femme	Moyenne	31,87	32,36	32,15
	Écart-type	3,25	2,04	2,523
	Minimum	27,55	30,04	27,55
	Maximum	34,65	35,61	35,61
Homme	Moyenne	31,05	31,32	31,17
	Écart-type	1,842	1,99	1,86
	Minimum	27,74	29,01	27,74
	Maximum	33,46	35,03	35,03

La Figure 21 présente les boîtes à moustache avec les données selon le genre tous groupes confondus. On constate qu'il y a eu un peu moins d'écart chez les hommes que chez les femmes pour la mesure de la température cutanée.

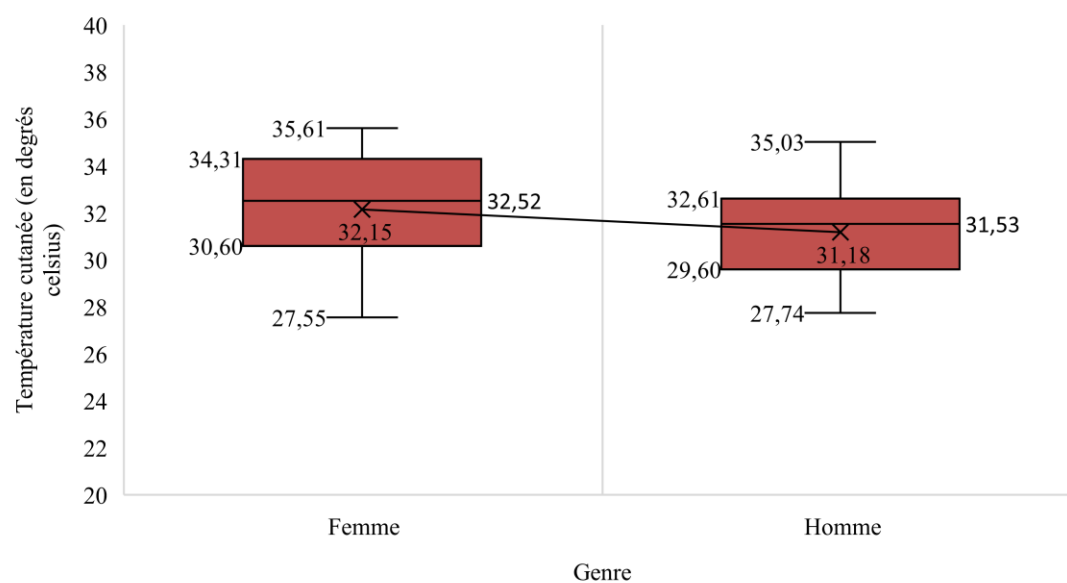


Figure 21 - Données descriptives pour la température cutanée selon le genre

Pour l'activité électrodermale, on observe une plus grande différence du genre selon le groupe. En effet, pour le groupe témoin, la moyenne des hommes (2,05 μ S) est plus basse que celle des femmes (2,48 μ S). Alors que pour le groupe expérimental, la moyenne des hommes (3,87 μ S) est légèrement plus élevée que celle des femmes (3,11 μ S) (Tableau 20).

Tableau 20 - Statistiques descriptives pour la mesure de l'activité électrodermale (en microsiemens)

		Groupe témoin	Groupe expérimental	Total
Femme	Moyenne	2,48	3,11	2,84
	Écart-type	1,09	3,36	2,58
	Minimum	3,25	10,57	10,57
	Maximum	0,31	0,22	0,22
Homme	Moyenne	2,05	3,87	2,87
	Écart-type	1,81	3,44	2,75
	Minimum	6,62	10,18	10,18
	Maximum	0,36	0,92	0,36

La Figure 22 présente la boîte à moustache des données descriptives de l'activité électrodermale selon le genre, peu importe le groupe. La figure nous indique qu'il y a un peu plus d'écart pour les hommes que pour les femmes.

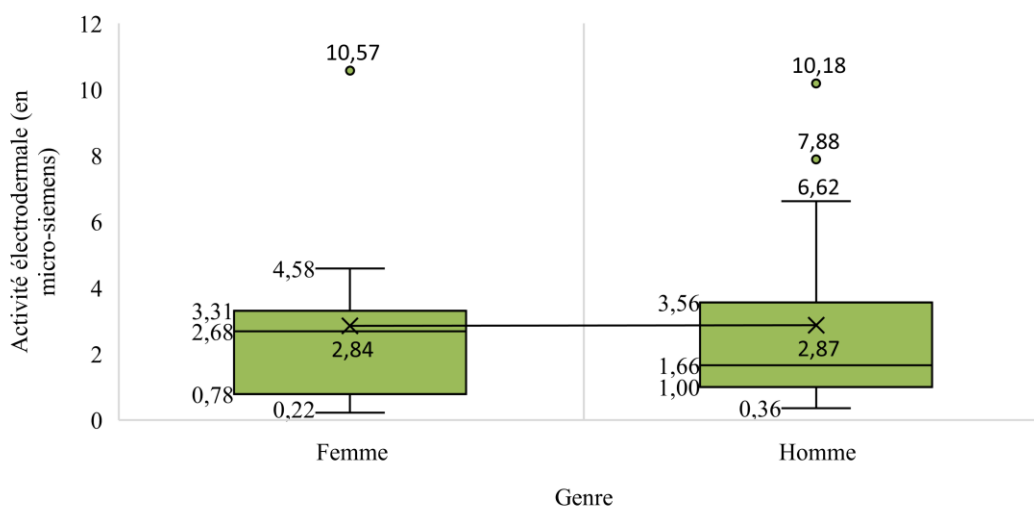


Figure 22 - Données descriptives pour l'activité électrodermale selon le genre

Nous avons réalisé des analyses statistiques plus approfondies. Tout d'abord, nous souhaitons vérifier l'impact de la condition météorologique sur les mesures de la charge mentale objective, prise par les capteurs biométriques, durant l'expérience. En effet, la condition météorologique peut affecter la charge mentale (Schneegass et al., 2013). Par exemple, la conduite sous une forte pluie peut être plus stressante que la conduite un jour ensoleillé. La variable indépendante étant la condition météorologique (soleil, nuageux ou pluie) et les variables dépendantes sont les moyennes des deux capteurs. Le résultat nous confirme que la condition météorologique a un impact sur la mesure de l'activité électrodermale ($r=.48$, $p<.005$, $n=34$), mais qu'elle n'a pas d'impact sur la température cutanée ($r=.37$, $p=.061$, $n=34$). On peut observer une relation modérée, bien que non significative. La condition météorologique semble avoir

un impact sur la charge mentale mesurée avec l'activité électrodermale, mais pas pour la température cutanée.

La charge mentale peut aussi être affectée lorsque l'activité de conduite a lieu à une heure de pointe ou à une heure creuse de la journée (Schneegass et al., 2013). Nous avons voulu vérifier que si la période de la journée avait un impact sur la mesure de la charge mentale objective. Les heures des expériences étaient 9 h 30, 10 h 30, 11 h 30, 13 h 30 et 14 h 30. Les résultats de l'analyse ne permettent pas de déduire d'un impact de la période de la journée sur l'activité électrodermale ($r=.086$, $p<.63$, $n=34$) ou sur la température cutanée ($r=.157$, $p<.37$, $n=34$). La période de la journée n'a pas d'impact sur la mesure de la charge mentale objective.

Notre première hypothèse spécifique est de vérifier si l'appartenance au groupe influe sur la température cutanée ou l'activité électrodermale. Pour ce faire, nous avons vérifié cette hypothèse à partir du test non paramétrique de Mann-Whitney. Il n'y a pas d'influence significative du groupe pour la température cutanée ($U : 136,50$, $p=.79$, $n=34$) ni pour l'activité électrodermale ($U : 124$; $p=.50$, $n=34$).

Pour résumer, les participants du groupe expérimental avaient une température cutanée et une activité électrodermale légèrement plus élevées que les participants du groupe témoin. Les résultats ont montré un impact de la condition météorologique sur la mesure de l'activité électrodermale. Pour tous les participants, il n'y a pas d'impact significatif entre les mesures biométriques et la période de la journée. Notre première hypothèse spécifique entre la charge mentale et le groupe de référence (témoin vs expérimental) est infirmée.

3.4.2.2 Comparaison subjective

Après la conduite automobile, tous les participants de l'étude répondaient au questionnaire de la NASA TLX pour évaluer ses six dimensions (exigence mentale, exigence physique, exigence temporelle, performance, efforts et frustration). Pour l'ensemble de l'échantillon, nous avons fait une analyse descriptive des résultats avant de faire des analyses plus poussées pour valider l'effet de l'échelle NASA-TLX sur les deux groupes (témoin et expérimental).

En premier lieu, nous avons analysé les résultats selon la condition du groupe (témoin ou expérimental). Le Tableau 21 permet de présenter les moyennes et les écarts-types par groupe pour les six dimensions de l'échelle NASA-TLX.

Tableau 21 - Statistiques descriptives des dimensions évaluées avec l'échelle NASA-TLX selon le groupe

		N	Moyenne	Écart type
Efforts	Témoin	17	82,35	97,88
	Expérimental	17	71,17	75,01
Frustration	Témoin	17	45,59	93,17
	Expérimental	17	47,94	84,78
Exigence Mentale	Témoin	17	121,47	122,34
	Expérimental	17	87,65	97,47
Exigence Physique	Témoin	17	28,53	45,37
	Expérimental	17	23,82	25,281
Exigence Temporelle	Témoin	17	92,06	78,72
	Expérimental	17	89,70	101,43
Performance	Témoin	17	51,76	34,047
	Expérimental	17	152,94	104,42
Poids total des dimensions évaluées	Témoin	17	28,47	20,69
	Expérimental	17	31,72	14,86

Concernant les statistiques descriptives, pour le groupe témoin, l'exigence mentale a été évaluée la plus exigeante (moyenne : 104,6), qui est suivie par la performance (moyenne : 102,4), puis l'exigence temporelle (moyenne : 90,9), les efforts à la fois physique et mental (moyenne : 76,8), la frustration (moyenne :

46,8) et en dernier, l'exigence physique a été évaluée comme la moins contraignante pendant la conduite (moyenne : 26,2). Pour le groupe expérimental, c'est la dimension de la performance qui a été jugée la plus exigeante (moyenne : 152,94), suivie de l'exigence temporelle (moyenne : 89,70), de l'exigence mentale (moyenne : 87,65), puis les efforts (moyenne : 71,17), la frustration (moyenne : 47,94) et enfin, l'exigence physique (moyenne : 23,82) qui est jugée la moins contraignante pour cette expérimentation. La Figure 23 présente ces résultats sous forme d'histogrammes.

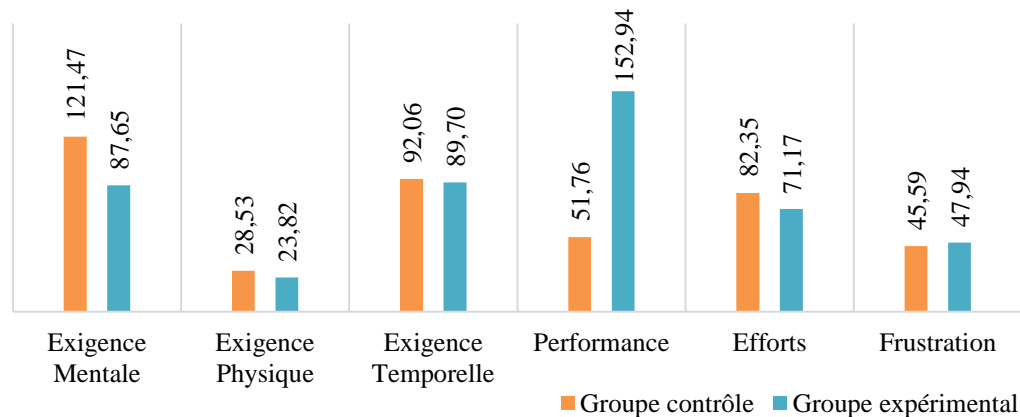


Figure 23 - Valeurs attribuées par les participants selon le groupe et selon les dimensions de l'échelle NASA-TLX

Notre seconde hypothèse spécifique cherche à confirmer si les dimensions de l'échelle NASA-TLX ont été évaluées de manière identique entre les deux groupes. Nous avons réalisé un test non paramétrique de Mann-Whitney puisque nos deux groupes sont indépendants et de petite taille (N=17). Notre hypothèse spécifique est confirmée pour cinq dimensions (exigence mentale ; exigence physique ; exigence temporelle ; efforts et frustration). Cependant, pour la dimension Performance, la valeur de p étant de 0,002 (ce qui est inférieur au seuil de signification de 0,05) on peut infirmer notre hypothèse et en conclure qu'il existe une différence significative pour la dimension de performance entre ces deux groupes (Tableau 22).

Tableau 22 - Résultats du test de Mann-Whitney

Rangs						
	Groupe	N	Rang moyen	Somme des rangs		
Exigence Mentale	Témoin	17	18,85	320,5		
	Expérimental	17	16,15	274,5		
	Total	34				
Exigence Physique	Témoin	17	16,29	277		
	Expérimental	17	18,71	318		
	Total	34				
Exigence Temporelle	Témoin	17	18,09	307,5		
	Expérimental	17	16,91	287,5		
	Total	34				
Performance	Témoin	17	12,29	209		
	Expérimental	17	22,71	386		
	Total	34				
Efforts	Témoin	17	17,56	298,5		
	Expérimental	17	17,44	296,5		
	Total	34				
Frustration	Témoin	17	16,35	278		
	Expérimental	17	18,65	317		
	Total	34				

Tests statistiques						
	Exig. Mentale	Exig. Physique	Exig. Temporelle	Performance	Efforts	Frustration
U de Mann-Whitney	121,5	124	134,5	56	143,5	125
Z	-0,794	-0,724	-0,345	-3,054	-0,034	-0,739
Sig. asymptotique (bilatérale)	0,427	0,469	0,73	0,002	0,972	0,46
Sig. exacte [2*(SIG. unilatérale)]	0,433	0,496	0,734	,002**	0,973	0,518

** $p < .01$

La perception subjective des participants à propos de leur charge mentale est que la performance a été plus exigeante pour les participants qui ont conduit avec le système que ceux ayant conduit sans le système. On peut en déduire que le système d'affichage tête haute et l'application mobile ont eu un impact sur la dimension subjective de la performance lors de la conduite automobile, mais pas sur les autres dimensions de l'échelle NASA-TLX.

3.4.2.3 Comparaison des charges mentales objective et subjective

À la suite des résultats présentés ci-dessus sur les différences entre les groupes (témoin et expérimental) relativement aux indicateurs individuels de la charge mentale, il convenait d'analyser l'impact de la charge mentale globale, tant objective que subjective.

Nous avons comparé les deux types de la charge mentale (objective et subjective) pour vérifier la troisième hypothèse spécifique sur l'existence d'un effet entre les moyennes des mesures objectives de la charge mentale et les moyennes de la mesure subjective de la charge mentale selon le groupe. La charge mentale a été traitée par une ANOVA mixte, utilisant deux facteurs intrasujets (conditions Objectives : moyenne de la température cutanée et moyenne de l'activité électrodermale ; et condition Subjective : moyenne du poids total des dimensions de l'échelle NASA-TLX) et un facteur intersujet (condition Groupe : témoin ou expérimental). Il n'y a pas d'effet principal significatif des conditions charge mentale objective et subjective selon la condition Groupe, $t(30)=,954$, $p=0,427$ (Tableau 23). De plus, il n'y a pas d'effet d'interaction que ce soit pour l'activité électrodermale, la température cutanée ou la charge mentale subjective.

Tableau 23 - Test multivarié ANOVA (MANOVA pour Multivariate Analysis of Variance)

Tests multivariés										
Effet		Valeur	F	ddl	de l'hypothèse	Erreur ddl	Signification	Eta-carré partiel	Paramètre Paramètre	Puissance observée ^c
Lambda de Wilks		0,913	,954	3,000	30,000	0,427	0,087	2,862	0,235	
Groupe	Trace de Hotelling	0,095	,954	3,000	30,000	0,427	0,087	2,862	0,235	
	Plus grande racine de Roy	0,095	,954	3,000	30,000	0,427	0,087	2,862	0,235	

d. Calcul à l'aide d' $\alpha = ,05$

Ce qui signifie que les participants ayant évalué le système d'affichage tête haute et l'application mobile ne semblent pas avoir eu de la charge mentale supplémentaire majeure par rapport aux participants qui ont conduit sans le système. Bien que ce système ne semble pas procurer de la charge mentale, il faut valider avec les conducteurs leur appréciation de l'expérience et du système évalué pour certains d'entre eux.

3.4.3 Évaluations subjectives après la conduite

Après la conduite, chaque participant devait répondre à un questionnaire pour évaluer l'expérience de conduite qu'il venait de réaliser. Les questionnaires étaient différents selon le groupe de référence. Pour rappel, le questionnaire du groupe expérimental comprenait vingt-sept questions, alors que celui du groupe témoin contenait vingt-cinq questions réparties dans deux questionnaires (un sur l'expérience de conduite et un sur l'évaluation de leur conduite automobile en général). Nous présentons en premier l'évaluation par le groupe expérimental (3.4.3.1), puis l'évaluation par le groupe témoin (3.4.3.2).

3.4.3.1 Évaluation du groupe expérimental

Nous avons demandé aux participants d'évaluer la satisfaction de l'expérience de conduite, les qualités et défauts du système, puis de juger différents critères d'ergonomie et de la persuasion technologique.

Tout d'abord, les résultats indiquent que l'expérience de conduite dans son ensemble a été jugée satisfaisante ou très satisfaisante pour 94 % des participants (note moyenne : 4,2/5).

Ensuite, les participants ont été interrogés sur les qualités et défauts du système selon eux. Ils devaient classer cinq qualités (fiable, bonne qualité, utile, unique et ergonomique) et cinq défauts (semble trop cher, peu pratique, inefficace, mauvaise qualité et non fiable). Pour les qualités évaluées, de la meilleure à la moins bonne, la première est son ergonomie, son utilité, le fait que le système soit unique, sa bonne qualité et dernière qualité est sa fiabilité (Figure 24). Les résultats descriptifs sont présentés au Tableau 24. Quatre participants n'ont pas répondu aux échelles. Il semble que cela soit dû à une mauvaise compréhension de la question (réponse par une croix plutôt qu'un chiffre).

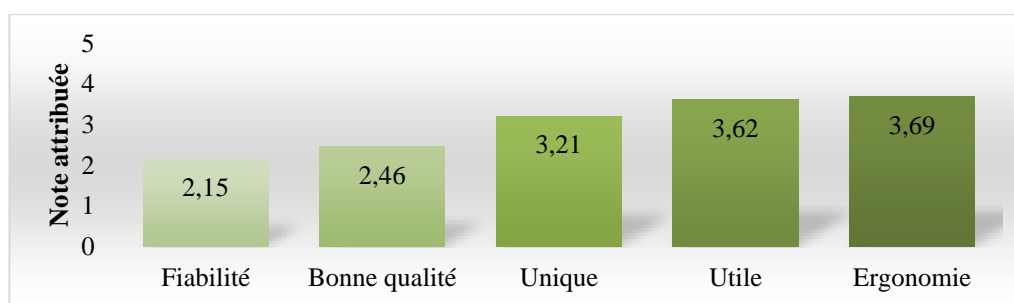


Figure 24 - Qualités du système évaluées par les participants

Tableau 24 - Résultats descriptifs des qualités évaluées

	Moyenne (/5)	Médiane (/5)	Écart-type
Fiabilité	2,15	2,00	1,21
Bonne qualité	2,46	3,00	1,20
Unique	3,21	3,50	1,58
Utile	3,62	4,00	1,38
Ergonomie	3,69	4,00	1,25

Parmi les défauts, le premier est sa mauvaise qualité, sa non-fiabilité, son inefficacité, l'aspect peu pratique du système et le dernier défaut est qu'il semble trop cher (Figure 25). Les résultats descriptifs sont présentés dans le Tableau 25. Trois participants n'ont pas répondu pour cette question. On peut souligner que la fiabilité et la qualité du système semblent être deux aspects à améliorer, étant déjà évalués dans les moins bonnes qualités.

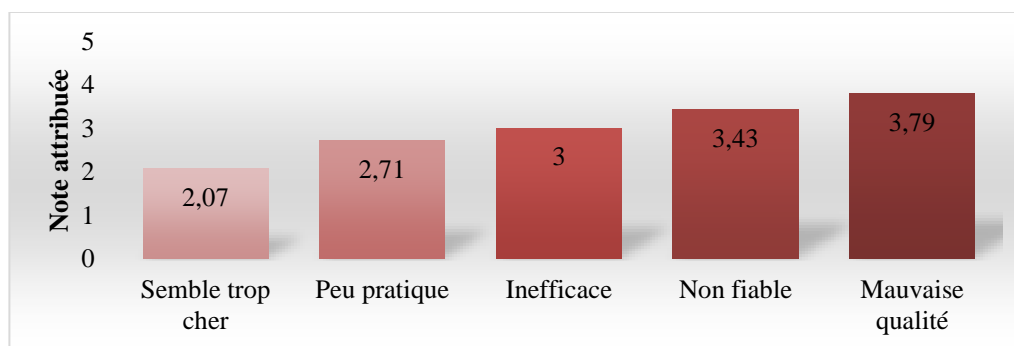


Figure 25 - Défauts du système évalués par les participants

Tableau 25 - Résultats descriptifs des défauts évalués

	Moyenne (/5)	Médiane (/5)	Écart-type
Semble trop cher	2,07	1,00	1,54
Peu pratique	2,71	2,00	1,33
Inefficace	3,00	3,00	1,51
Non fiable	3,43	3,00	1,09
Mauvaise qualité	3,79	4,00	1,12

À la suite du questionnaire, les participants devaient évaluer des critères d'ergonomie selon quatre choix de réponses (oui, plutôt oui, plutôt non, non) (Tableau 26). En premier, il s'agissait d'évaluer l'utilité du système. Les réponses sont réparties en deux groupes, puisque 47 % des participants ont considéré le système comme utile ou plutôt utile contre 53 % qui l'ont considéré comme inutile ou plutôt inutile. Par la suite, une question portait sur le bénéfice du système pour aider à conduire de manière sécuritaire. Le système a été évalué comme très bénéfique ou bénéfique pour 41 % des participants. Cet aspect se confirme avec le fait qu'après avoir testé le système, un quart des participants seraient intéressés à acheter le système (24 %). Tout comme la probabilité d'achat qui va dans le même sens. Même si une majorité de participants n'ont pas l'intention d'acheter le système, certains participants ont indiqué qu'il serait probable qu'ils achètent le système dans le futur (17 %). Nous pouvons en déduire que le système et l'application mobile ont réussi à convaincre plusieurs participants de notre échantillon des bénéfices potentiels du système testé lors de la conduite automobile et d'acheter le système une fois évalué en condition réelle.

Tableau 26 - Résultats descriptifs des critères ergonomiques

	Moyenne (/4)	Médiane (/4)	Écart-type
Utilité du système	2,53	2,00	1,07
Bénéfice du système	2,53	2,00	1,12
Achat du système	1,94	2,00	0,90
Possibilité d'achat	2,00	2,00	0,61

Nous avons ensuite demandé aux participants d'évaluer sur une échelle de 0 (pas du tout) à 10 (très en accord) les critères suivants : l'esthétique, l'apprentissage d'utilisation, la facilité d'usage, l'utilité et le fonctionnement. L'apprentissage d'utilisation arrive en premier (moyenne de 6,4/10), suivi de la facilité d'usage (5,8/10), du fonctionnement du système (5,7/10), de son utilité (5,1/10) et enfin de son esthétique (4,8/10). On peut donc souligner que l'apprentissage d'utilisation et la facilité d'usage semblent relativement faciles et intuitifs pour les participants de notre échantillon. Alors que l'esthétique est évaluée moins bien, ce qui semble logique puisque la mauvaise qualité a été évaluée comme le premier défaut. Le .

Tableau 27 présente les résultats descriptifs des réponses aux critères.

Tableau 27 - Statistiques descriptives pour les différents critères d'évaluation du système

	Moyenne (/10)	Médiane (/10)	Écart-type	Min.	Max.
Apprentissage d'utilisation	6,4	7,5	2,54	2	10
Facilité d'usage	5,76	7	2,90	0	10
Fonctionnement	5,71	6	2,62	0	10
Utilité	5,06	6	2,92	0	9
Esthétique	4,82	5	2,19	1	8

Toujours dans le questionnaire du groupe expérimental, une question était de savoir si le système ressemblait à d'autres systèmes informatiques avec lesquels les participants étaient familiers. La majorité des participants ont répondu non ou plutôt non (58 %) et le système est jugé différent des autres systèmes informatiques connus.

Nous avons aussi évalué notre système en nous inspirant des critères ergonomiques des chercheurs Bastien et Scapin et des chercheurs Lee et Coughlin (Bastien & Scapin, 1993; Lee & Coughlin, 2015). La Figure 26 présente en détail les réponses des participants pour les critères de la lisibilité, du groupement/distinction entre items, d'adaptabilité et de concision de Bastien et Scapin (Bastien & Scapin, 1993). Pour chaque question, cinq choix de réponses étaient possibles : Toujours, souvent, parfois, rarement et pas du tout.

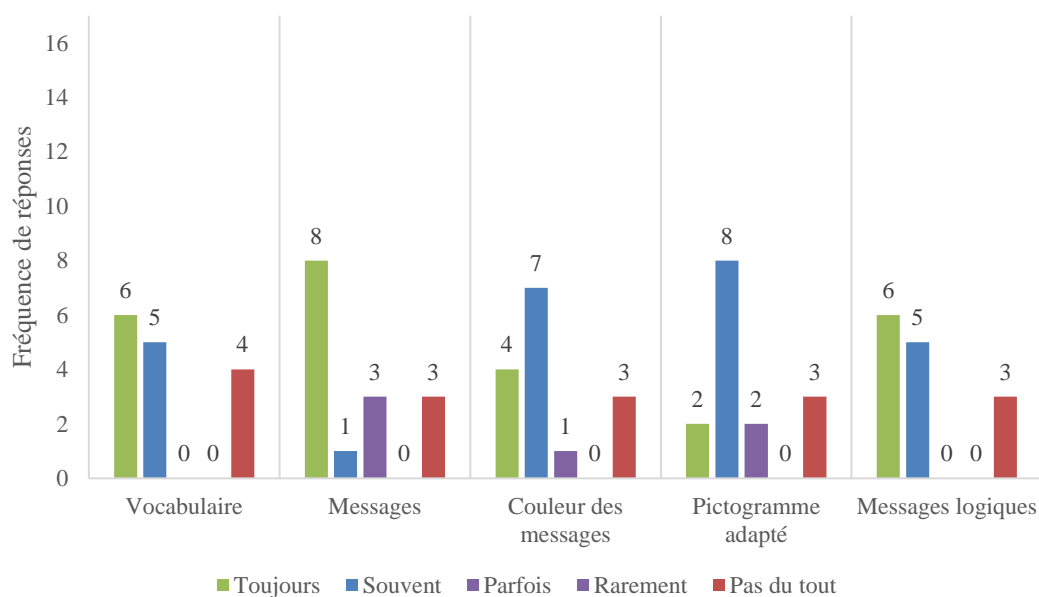


Figure 26 - Fréquence de réponse selon le critère évalué par le groupe expérimental (n=17)

Le premier critère était d'évaluer le vocabulaire utilisé par le système. Il s'agit du critère de lisibilité qui a pour fonction d'évaluer les caractéristiques lexicales dans la présentation des informations. Ce critère est bien respecté puisque le système a été évalué comme ayant un bon vocabulaire (64 %) facilitant la bonne compréhension des messages envoyés (60 %).

Pour le critère de groupement/distinction entre items, les participants devaient ensuite évaluer la couleur et les pictogrammes utilisés dans les messages. Pour rappel, ces couleurs et pictogrammes ont été choisis par des personnes du même groupe d'âge dans notre étude 1. Ce critère a également été bien respecté puisque les couleurs des messages (73 %) et les pictogrammes des messages (66 %) étaient jugés bien adaptés selon nos participants.

Pour le critère d'adaptabilité, il a été demandé si les messages apparaissaient de manière logique avec le contexte de conduite. Une vaste majorité des participants

a estimé que oui (79 %). Le système réagit de façon appropriée selon le contexte et les besoins des utilisateurs.

Pour le critère de concision, c'est-à-dire la charge de travail aux niveaux perceptif et mnésique, les personnes devaient répondre à propos de la fréquence des informations transmises par le système. Ce critère semble respecté. La majorité a trouvé qu'il y avait assez d'informations (56 %). Néanmoins, il faut prendre en considération le fait que certains participants ont indiqué qu'il n'y avait aucune information (25 %). Nous en déduisons que certains participants n'ont pas vu un ou plusieurs messages affichés dans le système.

Par la suite, nous avons demandé aux participants s'ils considéraient que ce système pourrait leur permettre de conduire plus longtemps et en toute sécurité en référence au critère de valeur des chercheurs Lee et Coughlin (Lee & Coughlin, 2015). C'est le cas pour plusieurs, puisque presque la moitié des participants a répondu positivement (46 %).

Ensuite, nous avons demandé si les informations transmises l'étaient dans des délais raisonnables. À nouveau, presque la moitié du groupe (47 %) trouvait les délais raisonnables.

Concernant le critère de soutien technique (Lee & Coughlin, 2015), une minorité de participants aurait souhaité une aide d'une personne physique ou un manuel écrit pour comprendre la signification des messages envoyés (12 %). La majorité de l'échantillon ne souhaitait pas de soutien, qui pourrait induire que le système a envoyé des messages explicites qu'on pourrait caractériser d'intuitif.

Enfin, nous avons demandé si le système avait gêné visuellement le participant pendant la conduite. La majorité des participants ont indiqué que ça ne les avait

pas gênés (70 %). Ce qui signifie que le système placé dans le champ de vision des participants n'ait pas été perçu comme une gêne visuelle. La Figure 27 présente les résultats détaillés pour chaque critère présenté ci-dessus.

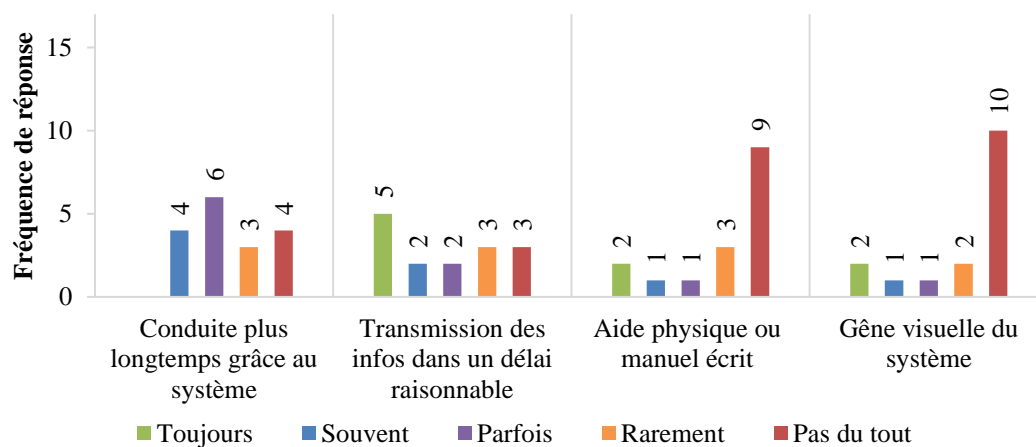


Figure 27 - Fréquence de réponse des questions évaluées par le groupe expérimental (n=17)

Nous avons ensuite interrogé les participants du groupe expérimental sur la persuasion de l'interface du système. Pour ce faire, nous avons utilisé la grille de critères ergonomiques pour l'appréciation de la persuasion technologique développée par les chercheurs Némery et Brangier (Némery & Brangier, 2014). Les critères sont divisés en deux catégories : les critères statiques et les critères dynamiques. Les critères statiques sont la crédibilité, la garantie de confidentialité, la personnalisation et le critère d'attractivité. Les critères dynamiques sont la sollicitation, l'accompagnement initial, l'engagement et l'emprise. Les participants devaient évaluer chaque critère sur une échelle allant de 1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait en accord).

Les résultats descriptifs pour chaque critère sont présentés dans le Tableau 28. Comme on peut le constater, le critère qui a été évalué le plus haut est celui de la confidentialité (note moyenne : 3,8/5). Les participants ont perçu que le système

permettait de rester anonyme face aux autres conducteurs. Tandis que le critère qui a eu la moins bonne évaluation est l'accompagnement initial (note moyenne : 1,9/5).

Tableau 28 - Résultats descriptifs des critères de persuasion

	Moyenne (/5)	Médiane (/5)	Écart-type
Confidentialité	3,8	4,50	1,14
Crédibilité Expertise	3,2	3,50	1,37
Crédibilité Fiabilité	3	3,50	1,15
Personnalisation	3	3,25	1,06
Crédibilité Confiance	2,9	3,00	1,25
Engagement	2,9	3,50	1,16
Attractivité	2,8	2,75	1,1
Sollicitation	2,7	3,00	1,37
Emprise	2,3	2,50	1,32
Accompagnement initial	1,9	2,00	0,92

À propos des résultats descriptifs pour l'évaluation des critères par catégorie. Pour les critères statiques, le premier critère est la crédibilité. L'interface de l'application a inspiré confiance pour 41 % des participants. Les informations de l'interface ont paru fiables pour 57 % d'entre eux. Ce qui est également le cas pour l'expertise et la légitimité des informations (57 %). L'interface du système semble crédible en ce qui concerne l'interaction concernant la fiabilité et l'expertise et la légitimité des informations transmises. Pour le critère de garantie de la confidentialité, le système respecte également la vie privée des utilisateurs (71 %). S'agissant du critère de personnalisation, les informations ont été jugées personnalisées et adaptées aux besoins (50 %). La personnalisation ici se définit par l'interface qui présente des informations adaptées aux besoins personnels, tel qu'après une utilisation, l'application s'est adaptée aux besoins du conducteur

(exemple : indiquer son nom). Il faut apporter une nuance entre ce critère de personnalisation et le fait d'avoir utilisé la méthodologie CCU pour adapter les interfaces. Des informations pourraient être ajoutées pour accentuer l'aspect de personnalisation avec, par exemple, l'affichage du nom du conducteur ou une photo de celui-ci. Pour le critère d'attractivité, les informations étaient visuellement attrayantes (43 %). Bien qu'appréciés, les éléments de l'interface (couleurs et pictogrammes) pourraient être plus attrayants pour capter l'attention du conducteur.

Concernant les critères dynamiques, le premier critère est la sollicitation. L'interface a attiré l'attention et incité à modifier le comportement pour la moitié de l'échantillon (50 %). De nouvelles actions pourraient être suggérées au travers de l'interface pour encourager un changement de comportement. Pour ce qui est du critère d'accompagnement initial, l'interface a suscité l'intérêt d'interagir avec le système (43 %). Pour le critère d'engagement, l'interface a encouragé la majorité des participants à adapter leur comportement de conduite (64 %). Enfin, le dernier critère est l'emprise. L'interface a convaincu seulement 37 % des participants d'utiliser régulièrement l'application mobile contre 43 % qui ont répondu que l'interface ne les a pas convaincus d'utiliser régulièrement l'application mobile.

La persuasion de l'interface du système peut donc être améliorée sur plusieurs points pour encourager une conduite sécuritaire durable.

3.4.3.2 Évaluations du groupe témoin

Les questions portaient principalement sur l'expérience, la conduite et leur opinion concernant les systèmes d'aide à la conduite en général.

Tout d'abord, nous les avons interrogés sur la satisfaction concernant l'expérience de conduite. Les participants étaient satisfaits (30 %) ou très satisfaits (70 %) (moyenne de 4,7/5).

Puis, nous les avons interrogés sur les systèmes d'aide à la conduite. La première question portait sur la possession d'un système d'aide à la conduite dans leur véhicule. Un peu moins de la moitié des participants a indiqué posséder un système dans son véhicule (35 % du groupe témoin). Les systèmes détenus sont le GPS, le régulateur de vitesse et la caméra de recul. Ensuite, nous les avons interrogés sur leur fréquence d'utilisation des systèmes et pourquoi ils les utilisaient. Pour l'utilisation, les participants qui possèdent un système ont indiqué l'utiliser toujours ou parfois (30 % chaque). Un participant a indiqué ne jamais s'en servir. Par la suite, les participants devaient justifier leur utilisation du (ou des) système d'aide à la conduite. Les raisons sont soit positives ou négatives. Nous les avons regroupés en deux catégories. La première est que le système leur fait prendre des risques ou n'est pas utile (« *Plus de risques de faire des gestes inappropriés* » ; « *j'aime avoir le contrôle sur ma conduite et mon véhicule* » ; « *pas besoin pour le moment* »). La seconde raison est que le système aide les personnes vieillissantes dans leur conduite automobile (« *habitude et sécurité* » ; « *je fais beaucoup de grandes routes [autoroute]. J'utilise toujours le régulateur de vitesse et je prédétermine mon trajet avec le GPS et utilise la caméra de recul, car je stationne toujours de reculons* » ; « *le fait de garder toujours la même vitesse est meilleur pour la conduite et pour l'économie d'essence* » ; « *très utile, réduit les risques* »).

Une question portait sur l'utilité de développer un système d'aide à la conduite pour les personnes de 60 ans et plus. Parmi les participants, 71 % ont indiqué une utilité de développer un tel système. Il y a donc un réel intérêt de développer ce type de système pour ces personnes.

Nous avons également interrogé nos participants si durant l'expérience, à cause du véhicule instrumenté ils avaient eu des troubles (physique, visuel, etc.), si leur conduite avait été perturbée et si l'expérience avait été contraignante (sentiment d'insécurité, irritation, sursollicitation). Aucun trouble n'a été recensé pour 71 % des participants. Seulement 6 % ont indiqué avoir eu un ou plusieurs troubles. Pour ce qui concerne le fait d'avoir perturbé la façon de conduire, 83 % ont indiqué ne pas l'avoir été et 65 % ont estimé que l'expérience n'était pas contraignante.

Enfin, nous leur proposons de remplir le questionnaire proposé sur le site internet de la CAA⁴¹. Celui-ci était à titre indicatif pour permettre aux participants d'évaluer quelques aspects de leur conduite. La moyenne des scores était de 14,8 sur 75, ce qui signifie qu'en général, les participants avaient de bonnes pratiques et habitudes concernant leur conduite automobile.

Ces questionnaires après la conduite sont donc un bon indicateur pour connaître l'expérience vécue par les participants et leurs opinions.

3.5 Discussion/Conclusion de cette 2^e étude

Cette seconde étude a eu pour objectif de concevoir et d'évaluer un système d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants. La première phase avait pour objectif de concevoir le système en fonction des résultats de la phase d'analyse. Ces résultats nous ont orientés vers un système d'affichage tête haute qui permet de présenter les informations au conducteur. Rappelons que ce choix

⁴¹ Récupéré du site internet le 13 janvier 2019 : <https://www.caa.ca/wp-content/uploads/2016/06/Evaluation-simple-de-la-conduite.pdf>

a été fait sur la base des résultats de la première étude et des travaux de recherche qui confirment que le système d'affichage tête haute est intéressant pour les conducteurs vieillissants. Ces derniers en seraient même les principaux bénéficiaires avec leurs champs de vision restreints (Pauzie, 2015). En outre, ce type de système limite les regards en dehors de la scène routière et serait facile d'utilisation. Après le choix du système, nous avons implémenté une application mobile composée de deux sous-applications, la première pour la présentation des interfaces et l'affichage des pictogrammes aux conducteurs et la seconde sous-application qui permet de contrôler les données.

Après la sélection et la conception du matériel, nous avons procédé à son évaluation pour vérifier que les choix sont conformes pour la population visée, c'est-à-dire les conducteurs vieillissants. Ces évaluations ont été réalisées en conditions réelles pour confirmer l'utilisabilité du système (Simões & Pereira, 2009) et vérifier que ce système n'augmente pas la charge mentale du conducteur vieillissant (Eby & Molnar, 2014).

Tous les participants de cette deuxième étude ont répondu à un questionnaire avant de conduire dont une section concernait quel système d'aide à la conduite les participants avaient, leur familiarité avec ces systèmes et leur opinion. Nous avons pu conforter notre première hypothèse principale qui est que le conducteur qui possède un système d'aide à la conduite dans son véhicule est plus familier avec ce système et a une meilleure opinion de celui-ci. Donc le fait d'avoir dans son véhicule un tel système rend la personne plus susceptible d'être familière du dit système. Ce résultat suggère donc que la familiarité permet d'améliorer l'opinion envers ces systèmes, même pour les personnes qui n'en possèdent pas encore. De plus, ce résultat confirme le lien de causalité proposé par le chercheur Duncan et ses collègues (Duncan et al., 2015). L'utilisation dépend donc de la possession, de la familiarité avec, mais également de l'opinion que le conducteur

aura de ce système afin de définir le degré d'utilisation. Une limite apparaît qui concerne le manque de connaissances sur la fréquence d'utilisation d'un système d'aide à la conduite. Une personne peut avoir un grand niveau de familiarité, mais utiliser le système de manière épisodique. Une future étude doit envisager cette hypothèse et vérifier la relation entre le fait de se dire familier et la fréquence d'utilisation d'un système d'aide à la conduite. En outre, nous pouvons confirmer que les personnes vieillissantes interrogées utilisaient souvent l'ordinateur, internet ou leurs courriels et donc avaient l'habitude des technologies informatiques.

Notre seconde hypothèse principale consistait à confirmer que le système choisi (affichage tête haute) évalué en condition réelle n'augmente pas la charge mentale du conducteur. Cette hypothèse a pu être validée grâce à l'étude de trois mesures de la charge mentale (objective et subjective). Comme l'indique la littérature, il est préférable de combiner plusieurs mesures physiologiques de la charge mentale (Schneegass et al., 2013). C'est pourquoi nous avons mesuré la charge mentale objective avec la température cutanée et l'activité électrodermale recueillies par des capteurs biométriques. Et la mesure de la charge mentale subjective a été faite par l'échelle NASA-TLX. Le Tableau 29 présente les résultats pour les hypothèses spécifiques relatives à la charge mentale.

Tableau 29 - Résumé des hypothèses spécifiques de l'étude 2

Hypothèses Spécifiques	Énoncé	Résultat	Section dans le document
HS 6	Appartenance du groupe -> Influence sur la température cutanée et l'activité électrodermale	NS	3.4.2.1
HS 7	Évaluation des dimensions NASA-TLX -> Appartenance du groupe	S (pour la performance)	3.4.2.2

HS 8	Effet objectives subjectives	moyennes ->	mesures mesures	NS	3.4.2.3
-------------	------------------------------	-------------	-----------------	----	---------

Les résultats de la charge mentale objective indiquent que cette dernière semble ne pas avoir augmenté pour les participants du groupe expérimental qui ont évalué le système. Lorsqu'on compare les résultats de la charge mentale des conducteurs du groupe expérimental, ayant évalué le système, à ceux du groupe témoin ne l'ayant pas testé, les moyennes de la température cutanée et de l'activité électrodermale sont légèrement plus élevées pour les conducteurs ayant eu à évaluer le système. Ce qui signifie que le système testé provoquerait une légère augmentation de la charge mentale pendant l'activité de conduite, bien que les résultats soient très près entre le groupe expérimental et témoin.

Lors des analyses, nous avons confirmé l'existence d'une relation significative entre les conditions météorologiques et l'activité électrodermale. La condition météorologique semble impacter sur l'activité électrodermale, ce qui vient influencer la mesure de la charge mentale. Une explication semble être liée à la température ambiante. Cette dernière a eu un impact sur quatre des participants lors d'une journée d'expérimentations. La température était de 29 degrés avec un ressenti de 38 degrés Celsius, ce qui a pu altérer le relevé de l'activité électrodermale. Quant à la période de la journée, les résultats n'indiquent pas d'influence entre ces périodes et les mesures biométriques relevées.

Les mesures de la charge mentale objective ne correspondent pas toujours au ressenti des participants. C'est pourquoi nous avons complété nos mesures objectives avec une mesure subjective (l'échelle NASA-TLX). Nos résultats révèlent une seule différence significative entre les groupes (expérimental et témoin) pour la dimension de performance. Le groupe expérimental semble avoir trouvé qu'il était plus difficile de conduire que le groupe témoin. Une explication

peut venir du fait qu'un expérimentateur était dans le véhicule lors des expérimentations et a pu influencer le conducteur dans la réalisation de sa tâche. Bien que cette présence n'ait pas créé de gêne pour le groupe témoin, le fait d'expérimenter un nouveau système avec la présence d'un expérimentateur à l'arrière peut avoir provoqué plus d'anxiété. La simple présence de l'expérimentateur dans l'environnement suffit à influencer le comportement des participants. Une autre limite concerne le nombre peu élevé de participants ayant évalué le système (17 participants). Une recherche complémentaire doit être effectuée en augmentant le nombre de participants. Le système d'affichage tête haute apparaît comme une solution d'assistance pour les conducteurs vieillissants, bien que des études supplémentaires doivent être proposées avec plus de participants pour confirmer cette tendance observée.

La réalisation de tests en conditions réelles a été très bénéfique pour évaluer l'opinion des participants. La littérature scientifique confirme l'importance de faire des évaluations de cette façon pour évaluer un système (Reimer et al., 2010). Nos résultats permettent de confirmer que le système a été évalué positivement avec une bonne compréhension des notifications. Les aspects ergonomique et utile sont les deux qualités du système jugées positivement par les participants. Ceci se confirme avec le fait que l'apprentissage et le fonctionnement du système sont évalués faciles. L'expérience de conduite a été jugée satisfaisante et la majorité des conducteurs vieillissants de notre échantillon ont indiqué que le système ne gênait pas la tâche de conduite automobile. Pour le système d'affichage tête haute, l'esthétique du système et la fiabilité doivent être améliorées dans une prochaine recherche. Enfin, des améliorations peuvent être proposées concernant la persuasion des interfaces pour encourager l'utilisation de ce système pour une conduite sécuritaire durable. La limite qui apparaît ici est le temps d'évaluation du système par le participant. Celui-ci découvrait le système et roulait avec pendant quarante minutes environ. Et comme nous

l'avons mentionné plus haut, la familiarité encourage l'opinion et donc l'usage d'un système. De plus, cette étude a été réalisée pour comparer deux groupes. Le groupe témoin réalisait une tâche de conduite alors que le groupe expérimental évaluait le système. Ce groupe témoin permettait d'être la référence des données collectées comparativement au groupe expérimental. De plus, nous avons fait ce choix de groupes compte tenu des ressources humaines et budgétaires disponibles. Une future étude pourra proposer une étude similaire avec des groupes appairés et que les personnes reviennent à plusieurs reprises faire l'expérience. Une étude longitudinale semblerait une piste de recherche future afin d'évaluer le système à plusieurs reprises. Par exemple, la stratégie pourrait servir à évaluer le système avec des mesures répétées : une évaluation avant et après une première expérience de conduite (tous). Puis, pour un premier groupe, une évaluation une seule fois après un délai d'une semaine. Pour un deuxième groupe, une évaluation à deux reprises après un délai d'une et deux semaines. Et pour un troisième groupe, une évaluation à trois reprises (après une, deux et trois semaines). Ces évaluations permettraient de tester l'effet de la familiarité du nouveau système et l'impression positive, comme nos résultats l'ont démontré lorsque nos participants possédaient certains systèmes d'aide à la conduite. De plus, pour favoriser encore plus l'effet de familiarité, une prochaine étude pourrait proposer d'évaluer le système dans le propre véhicule des participants. Bien que le véhicule instrumenté n'ait pas été une cause de gêne lors des expérimentations, l'évaluation dans le véhicule d'une personne semblerait une piste à envisager. Il s'agirait d'évaluer ce système d'affichage tête haute et de l'application mobile dans le véhicule des conducteurs vieillissants durant quelques jours et de vérifier si le système convient après une utilisation plus longue.

Une autre limite est l'utilisation de la technique du Magicien d'Oz. Bien que nous ayons souhaité valider les différentes interfaces avec les conducteurs vieillissants, il est très probable que selon la conduite de chaque conducteur, certains

n'auraient pas eu autant d'informations proposées par l'application mobile pendant leur conduite que ce qu'ils ont reçu pendant les expérimentations. Il faut donc proposer une nouvelle étude avec la présentation d'interfaces selon le contexte de la tâche de conduite grâce à l'analyse des données en temps réel. Dans l'application mobile actuelle, il est possible de recueillir des données. L'application a été développée pour collecter des données de conduite (vitesse, accéléromètre, localisation, etc.). Il pourrait être intéressant d'inclure également une technique de forage de données dans le but d'analyser en temps réel les données de conduite (par exemple : technique d'arbre de décision). Une prochaine recherche pourrait aller dans ce sens et permettre de proposer une interface personnalisée au conducteur en fonction du contexte de conduite automobile en temps réel.

Ainsi, cette étude a permis de développer et évaluer un nouveau matériel basé sur les analyses des besoins et attentes des conducteurs vieillissants québécois. Notre hypothèse générale de recherche est qu'un système d'aide à la conduite correspond aux attentes lorsqu'il est développé avec les participants visés et lorsqu'il est conçu de manière ergonomique en aidant les conducteurs à partir d'informations pertinentes et persuasives. Nous pouvons valider l'hypothèse au vu de l'ensemble de nos résultats. Lorsqu'un système d'aide à la conduite est conçu avec les participants visés, alors il correspond aux attentes des utilisateurs et aura tendance à moins augmenter la charge mentale.

Nous pouvons également répondre à notre seconde question de recherche à propos du type de système à offrir pour encourager une conduite plus sécuritaire et durable. La présente recherche nous indique que le système d'affichage tête haute est pertinent pour assister les conducteurs vieillissants. Dans notre recherche, nous avons proposé une application mobile spécialement conçue pour fonctionner avec le système d'affichage tête haute et présenter trois sortes

d'interfaces. Le système d'affichage tête haute et l'application mobile ont été validées en conditions réelles à partir de la charge mentale du conducteur. Nous possédons ainsi de nouvelles connaissances pour réfléchir à l'amélioration de la conduite automobile pour les conducteurs vieillissants.

CONCLUSION

Les chapitres précédents avaient pour objectif de présenter les résultats de notre recherche. Le présent chapitre apporte une réflexion critique sur les deux études présentées et l'inspection de futurs axes de recherche que nous souhaitons poursuivre.

4.1 Synthèse de la recherche

Ce travail de recherche s'est intéressé à la problématique des conducteurs vieillissants qui seront de plus en plus nombreux sur les routes dans les années à venir. Ce constat concerne plusieurs pays développés, dont le Canada fait partie. Ces pays font face à des défis qui sont de permettre la bonne intégration des conducteurs vieillissants dans le système routier et d'accroître leur capacité à rester mobiles avec leur véhicule personnel malgré les diminutions liées à l'avancée en âge. Une solution pour ces conducteurs semble être les véhicules complètement autonomes, mais il reste des recherches à faire concernant les mesures à mettre en place en attendant la mise en circulation de ces véhicules. Les systèmes d'aides à la conduite sont une mesure qui permet de soutenir le conducteur vieillissant dans sa tâche. Cependant, il faut que ce type d'assistance soit adapté et conçu pour répondre aux besoins réels des conducteurs. De plus, il existe un manque de données pour la conception de systèmes pour cette catégorie de conducteurs. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à cette problématique.

Les questions de cette recherche étaient de déterminer les facteurs à considérer lors du développement d'un système d'aide à la conduite les plus appropriés pour être offerts pour les conducteurs vieillissants. Puis à partir de ces facteurs, de valider l'acceptabilité du système en l'évaluant par des mesures objectives et subjectives. Pour ce faire, nous avons proposé d'appliquer la méthode CCU au travers de deux études. Ce qui permet d'une part d'analyser les conducteurs vieillissants, et d'autre part, en regard de cette analyse, de procéder à une conception et une évaluation d'un système d'aide à la conduite.

Dans la première étude, l'analyse des besoins et des attentes nous a permis de déterminer l'importance de considérer les craintes des conducteurs. C'est d'autant plus le cas pour les conducteurs vieillissants, pour qui le système d'aide à la conduite doit être perçu comme utile lors de la tâche de conduite automobile afin d'être utilisé régulièrement. Les résultats nous ont indiqué que les conducteurs vieillissants québécois interrogés ont des craintes concernant les diminutions sensorielles et plus spécifiquement, une baisse de la vision. Concernant leurs usages des systèmes d'aide à la conduite, ceux-ci sont occasionnels, en particulier chez les femmes. De plus, les conducteurs ont indiqué avoir confiance dans ces systèmes lorsqu'ils en font un usage fréquent. Enfin, les résultats de cette étude nous ont permis de constater que les choix pour la conception d'une interface d'un système d'aide à la conduite (pictogramme et couleur) sont proches de la signalisation qui existe dans le code de la sécurité routière. De manière plus large, ces résultats indiquent qu'il y a un réel intérêt d'examiner la pratique de la conduite automobile des conducteurs vieillissants, notamment parce que celle-ci est particulière en regard de leur grande expérience de conduite, de leur mode de vie et de leur crainte vis-à-vis de certaines situations. Un autre intérêt concerne l'utilisabilité des systèmes d'aide à la conduite actuels par les conducteurs vieillissants, puisque ceux-ci ont généralement une utilisation

des nouvelles technologies qui diffère de celles des autres catégories de personnes.

La seconde étude de cette recherche a eu pour but de concevoir le matériel selon les facteurs identifiés dans l'étude précédente. Le choix s'est orienté vers un système d'affichage tête haute et la conception d'une application mobile à partir des choix (pictogrammes et couleurs) recueillis pour les interfaces. Ce matériel a ensuite été évalué en conditions réelles de conduite avec un échantillon de conducteurs vieillissants. Pour réaliser cette évaluation, deux groupes ont été formés. L'un conduisait avec le système (groupe expérimental) alors qu'un autre conduisait sans le système (groupe témoin). La constitution de ces deux groupes est pertinente d'un point de vue méthodologique, puisqu'au lieu de comparer deux catégories de population (exemple : population jeune versus population vieillissante), le groupe témoin constituait ici la base de référence permettant de comparer les indicateurs mesurés. Ceux-ci étaient les données de la charge mentale pour tous les participants lors de la tâche de conduite dans un véhicule instrumenté sur une autoroute dans la grande région de Montréal. La charge mentale a été mesurée de manière objective par des capteurs biométriques et de manière subjective en répondant à l'échelle NASA-TLX. Les résultats de l'étude ont démontré l'utilité de mesurer la charge mentale des conducteurs vieillissants objectivement et subjectivement. En effet, l'évaluation du système a influé sur la performance de conduite des conducteurs vieillissants, mais pas la charge mentale objective où les résultats n'indiquent pas de différence significative entre les deux groupes. Ainsi, nous pouvons répondre à une seconde question de recherche qui est qu'un système d'affichage tête haute permet d'encourager une conduite plus sécuritaire et durable aux conducteurs vieillissants.

4.2 Limites de la recherche

Nous sommes conscients de certaines limites dans ce travail de recherche. La première concerne le contexte d'évaluation du matériel, c'est-à-dire une évaluation sur une autoroute. Il serait intéressant d'évaluer un système d'affichage tête haute dans un milieu urbain, puisque ce type de milieu comporte plus de risques. L'évaluation permettrait donc de confirmer l'assistance non distrayante pour les conducteurs vieillissants. Dans les résultats de notre première entrevue, les conducteurs ont indiqué qu'ils apprécieraient un système pour la détection des usagers vulnérables. Il serait intéressant d'implémenter cette fonctionnalité et l'évaluer avec un système d'affichage tête haute en outre d'autres interactions doivent être évalués au travers de nouvelles interfaces. De plus, les tests utilisateurs ont eu lieu au mois de juin. La province du Québec connaît des conditions météorologiques changeantes puisqu'en hiver, les conducteurs doivent s'accommoder avec de la neige ou du verglas. Il serait intéressant de connaître l'utilisation des conducteurs pour ce type de système sous différentes conditions (brouillard, de verglas ou de tempêtes de neige).

Une seconde limite du matériel est la présentation des informations. Nous avons sélectionné un système d'affichage tête haute et conçu une application mobile pour les conducteurs vieillissants. Le système n'a été présenté qu'une seule fois aux participants et pourrait être comparé à une période d'apprentissage. Nous avons souligné que plus les personnes sont familières avec un système, plus elles en ont une opinion plus positive, donc une étude longitudinale est à envisager dans le futur. De plus, comme ce système n'a pas gêné la vision des participants, une piste de recherche pourrait être de présenter les informations directement sur le parebrise du conducteur au moyen de la réalité augmentée afin de vérifier si cette technologie pourrait aider la vision des conducteurs. La réalité augmentée est une nouvelle technologie proposant des éléments virtuels dans le monde réel.

Autrement dit, cette technologie permettrait à l'utilisateur de voir le monde réel avec des objets virtuels superposés les uns au-dessus des autres (Azuma, 1997). Des recherches sont prometteuses pour améliorer la sécurité des conducteurs vieillissants en augmentant la probabilité de détection des risques grâce à la réalité augmentée, sans interférer avec d'autres tâches de conduite (Kim & Dey, 2009 ; Schall et al., 2012). L'affichage plus large et la présentation des informations en réalité augmentée sont une perspective à envisager pour les conducteurs vieillissants.

De manière plus globale, la méthodologie adoptée dans cette recherche est la CCU. L'application de cette méthode a déjà fait ses preuves pour la conception de technologie informatique, mais il n'existait pas à notre connaissance d'application de cette méthodologie pour le développement de systèmes d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants. La phase d'analyse a permis de déterminer les facteurs, qui ont été pris en compte pour concevoir un système et l'évaluer en conditions réelles de conduite. Les résultats ont permis de démontrer que l'enchaînement des étapes de la méthode CCU s'est bien adapté à ce cadre d'étude. Une limite apparaît dans notre application de cette méthode. En effet, nous n'avons pas proposé l'évaluation d'une maquette intermédiaire (appelé aussi technique Lo-Fi). Nous justifions ne pas l'avoir utilisée puisque notre étude était transversale impliquant des contraintes temporelles qui nous ont empêchés de réaliser cette phase. Toutefois, l'évaluation que nous avons réalisée en conditions réelles nous permet d'envisager une nouvelle phase d'itération. Par exemple, en réfléchissant et proposant de nouvelles interfaces pour le système d'affichage tête haute qui seront à nouveau testées, avant de finaliser la conception des interfaces de notre application mobile.

Enfin pour la population visée, nos conducteurs interrogés étaient peu nombreux. Nous sommes conscients que nos résultats concernent un petit échantillon et qu'il

faut poursuivre cette recherche, surtout la phase d'évaluation en conditions réelles avec d'autres participants, ce qui implique qu'une prochaine étude doit être réalisée avec un nombre de participants plus important. Aussi, les participants de ces deux études avaient un âge entre 55 ans et 85 ans. Il serait intéressant de proposer une recherche avec des participants plus âgés, c'est-à-dire entre 80 et plus, pour connaître leur utilisation des technologies dans leur véhicule.

Ces différentes limites permettent de réfléchir à des perspectives de recherches futures.

4.3 Contributions

La réalisation de cette recherche fait émerger des contributions théoriques, méthodologiques et appliquées.

4.3.1 Contributions théoriques

Premièrement, concernant les conducteurs vieillissants, l'entrevue avec des conducteurs vieillissants a permis de constater l'importance d'établir les attentes et besoins pour la conception d'un système d'aide à la conduite pour les conducteurs vieillissants. Le système d'affichage tête haute est un système qui convient aux conducteurs vieillissants selon nos résultats et confirme la proposition de Pauzié (Pauzie, 2015). En outre, la présente recherche a permis de confirmer les résultats de Duncan et collègues (2015) concernant la familiarité de l'utilisation d'un système d'aide à la conduite. Plus une personne va être familière avec un système, plus elle va l'apprécier (Duncan et al., 2015).

Ensuite, la sélection de pictogrammes par les conducteurs vieillissants pour le système d'aide à la conduite a permis de confirmer que les participants ont

conservé leur capacité à effectuer la tâche de conduite. Ces résultats confirment la recherche de Leung, McGrenere et Graf (Leung et al., 2011) où la conception de pictogramme avec les utilisateurs vieillissants a permis d'améliorer l'apprentissage et l'utilisation des applications mobiles. Ainsi, les pictogrammes doivent rester génériques, simples à comprendre et convenir aux besoins des conducteurs vieillissants. Pour l'évaluation de la charge mentale, la comparaison objective et subjective a permis de constater qu'objectivement il n'y a pas de différence significative alors qu'il y en a une pour l'aspect subjectif. Cette combinaison doit être encouragée dans les futures recherches portant sur la charge mentale des conducteurs vieillissants qui joue un rôle lors de l'acceptabilité d'un nouveau système de conduite.

Enfin, une dernière contribution théorique est pour l'évaluation de la charge mentale. L'évaluation de mesures objective et subjective a permis de constater qu'objectivement il n'y a pas de différence significative alors qu'il y en a une pour l'aspect subjectif. Cette combinaison des mesures doit être encouragée dans les futures recherches portant sur la charge mentale des conducteurs vieillissants qui joue un rôle lors de l'acceptabilité d'un nouveau système de conduite. Cette présente recherche a permis de démontrer l'intérêt de tester en condition réelle l'évaluation de la charge mentale lors de l'utilisation du système d'aide à la conduite.

4.3.2 Contributions méthodologiques

Un premier apport méthodologique émerge en ce qui concerne l'intégration des utilisateurs visés des systèmes d'aide à la conduite, notamment pour les conducteurs vieillissants. Cette méthode permet ainsi d'avoir une meilleure connaissance des conducteurs vieillissants pour leur proposer un système d'aide à la conduite qui leur corresponde. De notre point de vue, la méthodologie CCU a permis d'obtenir des résultats encourageants qui démontrent ainsi son efficacité.

C'est pourquoi ce type de méthode doit être intégrée dans de futures études qui touchent au développement de systèmes technologiques pour aider à la conduite des conducteurs vieillissants.

Un second apport est l'évaluation en conditions réelles qui a permis de voir les avantages et inconvénients du système. Ce qui confirme les résultats de Reimer et collègues à propos d'une évaluation d'un nouveau système en conditions réelles avec des personnes vieillissantes (Reimer et al., 2010). Cela permet également d'avoir les comportements induits par les systèmes sur les conducteurs visés. L'évaluation en condition réelle est donc à privilégier dans des études impliquant des conducteurs vieillissants.

4.3.3 Contributions appliquées

Le système d'affichage tête haute, que nous avons évalué, est un système commercialisé pour le grand public sur internet. Nous avons implémenté une application à partir des résultats de l'étude 1 et l'évaluation de la charge mentale permet de constater que c'est un système qui convient aux conducteurs vieillissants. D'autres applications mobiles peuvent émerger et être proposées aux conducteurs vieillissants. La compagnie HudwayGlass peut orienter la vente de son système vers la population des conducteurs vieillissants. En outre, la proposition de ces systèmes peut être proposée par des compagnies automobiles ou des compagnies d'assurance.

4.4 Conclusion

Comme le vieillissement de la population est une problématique pour la plupart des pays développés, les personnes vieillissantes sont des conducteurs à considérer. En outre, il s'agit de les encourager à rester mobiles en tenant compte des diminutions liées à l'avancée en âge. Cette recherche a permis de relever les

avantages et inconvénients que le système suscite en conditions réelles. Il faut continuer la réalisation de tests utilisateurs comme ceux effectués dans la présente recherche pour améliorer la perception des conducteurs vieillissants. Ainsi, si les systèmes sont bien perçus, ils seront plus utilisés et adoptés par les conducteurs vieillissants.

Avec l'arrivée des véhicules autonomes, le conducteur risque d'être moins impliqué dans la conduite puisque le système devient autosuffisant (Reimer, 2014). Le Québec, et plus largement le Canada, doivent encourager l'opinion publique à utiliser les systèmes actuels, ce qui encouragera l'utilisation des véhicules autonomes lors de leur disponibilité. C'est à travers l'éducation des conducteurs vieillissants que cela sera possible. Ainsi, la confiance acquise par ces conducteurs envers les systèmes d'aide à la conduite ne pourra exister que si ces conducteurs acquièrent l'efficacité de ces systèmes et ont des expériences positives (Duncan et al., 2015).

Les conducteurs vieillissants ont encore trop peu d'expérience avec ces technologies émergentes, que ça soit pour leur forme ou leur contenu d'assistance, elles doivent encore être étudiées. Des recherches doivent poursuivre les investigations concernant l'implication des conducteurs vieillissants lors de la conception de système d'aide à la conduite automobile, mais également pour des systèmes technologiques d'autres domaines. Les centres de recherche universitaires doivent s'associer avec l'industrie automobile pour permettre le développement de supports dans le but d'éduquer et accompagner les conducteurs vieillissants moins enthousiastes aux systèmes technologiques (Reimer, 2014).

Cette recherche a permis de présenter l'intérêt de concevoir et d'évaluer un système avec des conducteurs vieillissants. Enfin, comme le nombre des

personnes âgées va augmenter, les innovations relatives à la mobilité des personnes, pour diminuer la charge de l'avancer en âge, vont gagner de la valeur dans les prochaines décennies. La croissance de la population âgée va provoquer une évolution des appareils technologiques connectés, mais aussi de l'urbanisme, des systèmes de transport en commun adaptés ou l'augmentation de rues piétonnes. Cette vision répondrait ainsi aux besoins grandissants des populations vieillissantes.

Nous concluons ce travail en mentionnant que l'originalité des études de cette thèse repose sur l'intégration de connaissances théoriques et méthodologiques provenant de diverses disciplines, soit l'informatique, l'ergonomie et la psychologie sociale et psychologie cognitive. Selon nous, il importe que les recherches futures qui impliquent, comme dans ce travail de recherche, des sujets humains (avec des caractéristiques psychosociales et cognitives spécifiques) avec des besoins particuliers (au plan ergonomique) et qui doivent être en interaction avec des systèmes et des applications technologiques exigeants une forme d'adaptation, soient réalisées dans une perspective interdisciplinaire comme la présente recherche.

ANNEXE A

ÉTUDE 1 – CERTIFICAT D'ÉTHIQUE



CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

2016-206

Le comité d'éthique de la recherche de la Têluq certifie avoir examiné la proposition de recherche soumise par

Évelyne Vallières

Intitulée

Évaluation de l'impact de deux systèmes de transport intelligents embarqués pour l'évitement de situations à risque et l'adoption d'une conduite plus sécuritaire dans un véhicule instrumenté

et avoir conclu que la recherche proposée est entièrement conforme aux normes d'éthique en recherche selon la *Politique d'éthique de la recherche avec les êtres humains*.

Valide jusqu'au 20 avril 2017

Membres du comité

Lamiot, Éric
Pichette, François
El Kamel, Leila
Bissonnette, Steve
Kpanake, Lonzozou
Bélangier, Nicolas
Laprise, Mario

Agent recherche et planification, TÉLUQ
Professeur, TÉLUQ
Professeure, TÉLUQ
Professeur, TÉLUQ
Professeur, TÉLUQ
Professeur, TÉLUQ
Avocat, RRQ

Recherche
Linguistique
Marketing
Psychopédagogie
Psychologie
Environnement
Affaires juridiques

2016-04-20

Date

François Pichette
Président par intérim

Éric Lamiot
Agent de recherche et de
planification – Recherche
TÉLUQ

ANNEXE B

ÉTUDE 1 - QUESTIONNAIRE TROIS MOIS APRÈS L'EXPERIMENTATION

Vous avez réalisé une expérience dans un simulateur de conduite ou un véhicule instrumenté de la TÉLUQ il y a maintenant trois mois.

Les questions porteront d'abord sur vos souvenirs de l'expérimentation en tant que telle, puis les questions porteront sur vos choix concernant le développement et l'adoption d'un système d'aide à la conduite. Dans les prochaines questions, nous allons utiliser le terme « système » qui fait référence au système d'aide à la conduite.

Code du participant :

QUESTIONS SUR L'EXPÉRIENCE DE CONDUITE

1) Dans votre souvenir, avez-vous aimé de votre expérience dans le simulateur de conduite/le véhicule instrumenté ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

2) Dans votre souvenir, est-ce que les conseils divulgués par le système vous semblaient judicieux ?

- Beaucoup
- Moyennement
- Un peu
- Pas du tout

3) Depuis les quatre mois écoulés, est-ce que le fait d'avoir testé ce système a eu un impact sur votre conduite ?

- Beaucoup
- Modérément
- Un peu
- Pas du tout

4) Depuis les quatre mois écoulés, est-ce que le fait d'avoir testé ce système vous a permis de mieux gérer votre fatigue au volant ?

- Beaucoup
- Moyennement
- Un peu
- Pas du tout

5) Dans la vie de tous les jours, après avoir conduit quelque temps, quel est votre malaise que vous éprouvez en premier après avoir démarré la conduite ?

- Yeux fatigués
- Mal de cou
- Douleur dans les épaules
- Mal de tête
- Autre : (réponse libre)

6) Généralement, avez-vous peur quand vous conduisez ?

- Oui
- Non

7) Si oui, dans quel type de situation ? (réponse libre)

8) Quel type de problèmes vous rend le plus nerveux lors de la conduite ?

- Faible acuité visuelle
- Difficulté de bouger le corps
- Diminution de l'audition
- Faible mémoire
- Autre : (réponse libre)

9) Quel type d'accident routier avez-vous ou craignez-vous d'avoir ?

- Accident lors de la conduite de nuit
- Accident lors d'un changement de lignes
- Accident lors de tourner à gauche
- Accident lors de tourner à droite
- Toutes ces situations

QUESTIONS SUR LE DÉVELOPPEMENT ET L'ADOPTION D'UN SYSTÈME D'AIDE À LA CONDUITE

10) Vous sentez-vous en sécurité avec les systèmes d'aide à la conduite actuels (exemples : GPS, régulateur de vitesse/cruise control, aide au freinage, caméra pour la marche arrière, etc.) ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

11) Si non ou plutôt non, pourquoi ne vous sentez-vous pas en sécurité ?

- Manque de formation sur l'utilisation sur le système
- Interface mal conçue pour les usagers
- Provoque des erreurs dans votre conduite
- N'est pas utile compte tenu de votre expérience de conduite
- Autre : (réponse libre)

12) Est-ce que vous utilisez un (ou plusieurs) système(s) d'aide à la conduite dans la vie quotidienne ?

- Toujours
- Souvent
- Quelque fois
- Rarement
- Jamais

(Question pour les personnes ayant répondu toujours, souvent, quelques fois et rarement)

13) Quel système utilisez-vous le plus souvent ? (réponse libre)

14) Si vous utilisez ou si vous aviez l'opportunité d'utiliser un système d'aide à la conduite, quels bénéfices souhaiteriez-vous pour votre conduite ?

- Aide pour détecter les usagers vulnérables (cycliste, piéton)
- Aide dans une intersection avant de tourner à gauche ou à droite
- Aide pour le contrôle de la vitesse
- Aide pour les manœuvres pour se stationner
- Autre : (réponse libre)

15) Selon vous, quelle est la situation la plus à risque ?

- Les virages à gauche à une intersection avec un panneau arrêt
- Les virages à gauche à une intersection avec un panneau de céder le passage
- Les virages à droite pour sortir d'une autoroute
- Insertion sur une route à accès limité avec un panneau céder le passage
- Changement de voie sur une route à plusieurs voies (4 et plus)
- Autre : (réponse libre)

16) a. Concernant l'interface d'un système, quelle(s) couleur(s) préférez-vous pour une alerte ? (réponse libre)

16) b. Concernant l'interface d'un système, quelle(s) couleur(s) préférez-vous pour un conseil ? (réponse libre)

16) c. Concernant l'interface d'un système, quelle(s) couleur(s) préférez-vous pour un renseignement (vitesse de conduite, trafic, météo, etc.) ? (réponse libre)

17) a. Concernant l'interface d'un système, quel(s) pictogrammes ou forme préférez-vous pour une alerte ? (réponse libre)

17) b. Concernant l'interface d'un système, quel(s) pictogrammes ou forme préférez-vous pour un conseil ? (réponse libre)

17) c. Concernant l'interface d'un système, quel(s) pictogrammes ou forme préférez-vous pour un renseignement ? (réponse libre)

18) Avant d'acheter un nouveau système d'aide à la conduite, aimeriez-vous en tester quelques-uns pour pouvoir les comparer entre eux ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

19) Selon vous, est-ce que ce type de système devrait être vendu dans des magasins spécialisés (c'est-à-dire un magasin qui ne vendrait que des systèmes d'aide à la conduite) ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

20) Préférez-vous avoir un support technique avec une personne réelle ou avec un manuel écrit ?

- Personne réelle
- Manuel écrit
- Les deux (personne réelle + manuel écrit)

21) Aimeriez-vous avoir une formation avec une personne réelle pour apprendre les différentes fonctionnalités du système ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

22) Si une compagnie automobile ou d'assurance automobile soutenait un système d'aide en particulier, est-ce que ça influencerait votre décision de l'acheter ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

23) Peu importe votre réponse, pouvez-vous justifier votre choix ? (réponse libre)

24) Faites-vous confiance aux informations recueillies par ce type de système ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

25) En enregistrant des informations, considérez vous que le système empiète dans votre vie privée ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

26) Lorsque vous testez un nouveau système technologique, est-ce que vous faites référence à d'autres systèmes familiers (téléphone intelligent, tablette, etc.) que vous utilisez déjà pour déterminer votre perception et votre intention de l'utiliser ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

27) Avez-vous connu des expériences négatives dans le passé avec un système d'aide à la conduite ?

- Oui
- Non

28) Si oui, quel type d'expérience négative ? (réponse libre)

Commentaires généraux :

ANNEXE C

ÉTUDE 2 – CERTIFICAT D'ÉTHIQUE



CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

2017-233

Le comité d'éthique de la recherche de la Têluq certifie avoir examiné la proposition de recherche soumise par

Perrine Ruer et Évelyne Vallières

Intitulée

Évaluation de l'impact d'un système affichage tête haute dans un véhicule instrumenté pour assister la conduite des personnes vieillissantes

et avoir conclu que la recherche proposée est entièrement conforme aux normes d'éthique en recherche selon la *Politique d'éthique de la recherche avec les êtres humains*.

Valide jusqu'au 5 mai 2018

Membres du comité

Ryan, Pascale	Agente recherche et planification, TÉLUQ	Recherche
Pichette, François	Professeur, TÉLUQ	Linguistique
El Kamel, Leila	Professeure, TÉLUQ	Marketing
Kpanake, Lonzozou	Professeur, TÉLUQ	Psychologie
Mezghani, Neila	Professeure, TÉLUQ	Génie biomédical
Joan Casademont, Anna	Professeure, TÉLUQ	Sémantique
Carignan, Isabelle	Professeure, TÉLUQ	Didactique
Laprise, Mario	Avocat, RRQ	Affaires juridiques

2017-05-05

Date

François Pichette
Président

Pascale Ryan
Agente de recherche et de
planification – Recherche
TÉLUQ

ANNEXE D

ÉTUDE 2 - FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT PARTICIPATION AU PROJET

<p style="text-align: center;">FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT PARTICIPATION AU PROJET</p>

Titre de la recherche : Les conducteurs de 60 ans et plus et l'évaluation d'un système d'affichage tête haute pour assister la conduite

Vous êtes invité(e) à participer à un projet de recherche scientifique. Le présent document vous renseigne sur les modalités de ce projet.

S'il y a des mots ou des paragraphes que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions aux personnes en charge de cette recherche.

Pour confirmer votre participation, vous devez signer le consentement à la fin de ce document.

- A) RENSEIGNEMENTS AUX PARTICIPANTS
 - 1) Objectifs de la recherche

Cette étude vise à comprendre les comportements de conduite avec ou sans système d'aide à la conduite des conducteurs ayant 60 ans et plus. Cette étude se déroulera dans un véhicule instrumenté sur route. En outre, ce projet de recherche entre dans le cadre d'une thèse de doctorat.

La séance durera environ 2 h 30. Au cours de celle-ci, il vous sera demandé de remplir un questionnaire. Selon le groupe dans lequel l'expérimentateur vous aura attribué, une habitude avec le système vous sera proposé. Ensuite, vous allez conduire pendant environ 30-40 minutes avec ou sans le système affichage

tête haute. Des capteurs seront fixés sur vos doigts pour relever votre température cutanée et votre conductivité électrodermale durant la tâche de conduite. Ceux-ci sont sans effet sur vous ou votre conduite. Vous devrez respecter les signalisations routières et les limitations de vitesse indiquées sur la route. Si vous ne les respectez pas, la TÉLUQ se décharge de toute responsabilité concernant les contraventions dues à des excès de vitesse de votre part. Après la conduite, deux questionnaires vous seront proposés.

Vous serez filmé pendant votre conduite. Ces renseignements ne serviront qu'aux seules fins du présent projet. Un formulaire spécifique vous est fourni pour l'utilisation de l'image.

Des collations et boissons seront à votre disposition avant et après la tâche de conduite.

2) Confidentialité

Tous les renseignements recueillis resteront strictement confidentiels. Toutes les personnes qui auront accès aux données ont signé ou signeront un formulaire d'engagement au respect de la confidentialité des données recueillies.

Pour préserver votre identité et la confidentialité des renseignements, vous serez identifié (e) par un numéro de code. La clé du code, reliant votre nom au dossier, sera consignée par le chercheur responsable du projet. Ces renseignements personnels seront détruits sept ans après cette date. Les données recueillies seront uniquement analysées à des fins de recherche scientifique.

La publication des résultats de la recherche dans des revues scientifiques ne comportera aucun résultat individuel. Les conclusions seront exprimées en fonction de l'ensemble des personnes ayant participé à l'étude.

3) Avantages

Cette recherche doit contribuer à l'avancement des connaissances pratiques et scientifiques pour la sécurité routière. Les avantages sont d'abord un avantage personnel. Vous allez participer à une étude qui vous permettra de tester un nouveau système avec un nouveau mode d'affichage. Un autre avantage est que les données seront utilisées pour répondre à des objectifs scientifiques et apporter de nouvelles connaissances pour la communauté.

4) Droit de retrait

Votre participation est entièrement volontaire.

Vous êtes libre d'arrêter à tout moment votre participation sans encourir de responsabilité, et sans que cette décision n'ait d'incidence sur les relations avec les chercheurs. Vous aurez également droit au montant prévu comme dédommagement pour la séance en cours lors du retrait.

5) Indemnité

En compensation de votre participation aux différentes phases du projet, vous recevrez un montant en argent comptant de **30 \$**.

B) Consentement

Je déclare avoir pris connaissance des informations ci-dessus, avoir obtenu les réponses à mes questions sur la participation à la recherche et comprendre le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de cette recherche.

Je consens à ce que les données recueillies dans le cadre de cette étude soient utilisées pour des projets de recherche subséquents de même nature, conditionnellement à leur approbation par un comité d'éthique de la recherche et dans le respect des mêmes principes de confidentialité et de protection des informations.

- Oui
 Non

Après réflexion, je consens librement à prendre part à cette recherche. Je sais que je peux me retirer en tout temps sans préjudice et sans avoir à justifier ma décision. J'ai eu l'occasion de poser des questions auxquelles on a répondu à ma satisfaction.

Par ma présente, j'accepte librement de participer au projet.

PARTIE PARTICIPANT(E)

Je soussigné(e).....(nom et prénom en caractères d'imprimerie) déclare avoir lu et compris le présent formulaire.

Numéro de votre permis de conduire :

Fait à _____, le ____/____/____ (jj/mm/aaaa).

Signature de la participant(e)

PARTIE CHERCHEUR(E)

Je déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Nom, Prénom :

Le ____/____/____ (jj/mm/aaaa).

Signature de la chercheure

Si vous avez des questions concernant cette recherche, vous pouvez contacter la chercheure principale, Madame Perrine Ruer, au numéro de téléphone ou à l'adresse de courriel indiqué ci-dessous.

Perrine Ruer
Étudiante, Chercheure principale
Télé-Université du Québec
(514) 843-2015 (poste 2091)
pruer@teluq.quebec.ca

Pour toute question concernant les règles d'éthique de la recherche, vous pouvez communiquer avec le comité d'éthique de la recherche de la TÉLUQ à cereh@teluq.ca

ANNEXE E

ÉTUDE 2 - FORMULAIRE D'AUTORISATION D'UTILISATION À
L'IMAGE**Formulaire d'autorisation d'utilisation à l'image****Demande d'autorisation d'utilisation de l'image d'une personne au sein
d'un film et d'un enregistrement audio**

Je soussigné(e) :

Demeurant à :

Autorise Madame Perrine Ruer, Étudiante et Chercheure responsable de ce projet à me filmer pendant ma conduite dans le cadre de son projet de recherche pour sa thèse de doctorat.

J'accepte l'utilisation et l'exploitation non commerciale de mon image ainsi que de sa reproduction sur quelque support que ce soit (papier, support audio et numérique). Je donne mon accord à la reproduction et à la diffusion de mon image à des fins de communication et de recherche scientifique.

Dans ces conditions, je renonce expressément à me prévaloir de mon droit à l'image et à toute action à l'encontre des observateurs qui trouverait son origine dans l'exploitation de mon image dans le cadre cité ci-dessus.

Cette autorisation est valable durant toute la durée d'exploitation du film.

Fait à

Le

Signature participant(e)
chercheur(e)

Signature

ANNEXE F

ÉTUDE 2 - QUESTIONNAIRE AVANT CONDUITE

RENSEIGNEMENTS SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES
--

1. Vous êtes :

- Femme
- Homme

2. Votre date de naissance (aaaa-mm-jj) :

3. Vous vivez :

- En couple
- Seul(e)
- Avec vos enfants
- Avec des amis
- Autre : (*préciser*) _____

4. Votre plus haut niveau d'étude que vous avez complété :

- Primaire
- Secondaire
- Professionnel
- Baccalauréat
- Maîtrise

Doctorat

5. Vous habitez :

Métropole

Ville

Village

Autre : (préciser) _____

6. Votre catégorie socio-professionnelle :

Retraité(e)

En emploi (plein temps ou temps partiel)

En recherche d'emploi

Étudiant(e)

7. Indiquez votre profession (si vous êtes à la retraite, indiquez la profession que vous exerciez) :

–

8. Est-ce que vous conduisez (ou conduisiez) dans le cadre de votre profession ?

Oui, pour me rendre de mon habitation au travail

Oui, dans le cadre de mon travail

Non

Autre : (préciser) _____

9. Date d'obtention de votre permis de conduire (aaaa-mm-jj) :

10. Est-ce que votre permis est valide à ce jour :

Oui

Non

11. Actuellement, vous utilisez votre véhicule :

- Jamais
- 1-2 fois par semaine
- 3-4 fois par semaine
- 5-6 fois par semaine
- Tous les jours

12. Votre véhicule personnel est :

- Peu puissant
- Puissant
- Très puissant

13. Vous parcourez en moyenne par semaine :

- Moins de 20 kms
- Entre 20 et 50 kms
- Entre 50 et 100 kms
- Entre 100 et 150 kms
- Entre 150 et 200 kms
- Plus de 200 kms

14. Quel type de route empruntez-vous le plus souvent ? (une seule réponse possible)

- Autoroute
- Route de campagne
- Ville
- Autre : (*préciser*) _____

15. Vous utilisez principalement votre véhicule pour : (une seule réponse possible)

- Emploi
- Loisirs/activités culturelles
- Magasinages (épicerie, shopping, etc.)
- Activités familiales
- Vacances/voyages
- Soins médicaux
- Autre : (*préciser*) _____

16. Quel moyen de locomotion favorisez-vous le plus souvent pour vos déplacements ? (une seule réponse possible)

- Véhicule personnel
- Vélo
- Transport en commun
- Marche à pieds
- Aide extérieure payante (taxi, voiture de location, aide à domicile, etc.)
- Autre : (*préciser*) _____

17. Aimez-vous conduire ?

- 0-Je déteste conduire
- 1-Je n'aime pas vraiment conduire
- 2-J'aime un peu conduire
- 3-J'aime modérément conduire
- 4-J'aime beaucoup conduire
- 5-J'aime énormément conduire
- 6-J'aime conduire à la folie

RENSEIGNEMENTS CONCERNANT VOTRE SANTÉ
--

18. Vous évaluez votre qualité de vie comme :

- Très bonne
- Bonne
- Ni bonne, ni faible
- Faible
- Très faible

19. Vous évaluez votre état de santé comme :

- Très bon
- Bon
- Ni bon, ni mauvais
- Mauvais
- Très mauvais

20. Avez-vous une maladie ou un problème de santé chronique (c'est-à-dire une douleur persistante depuis plus de 3 mois) ?

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

Si oui, veuillez précisez :

EXPÉRIENCES AVEC LES NOUVELLES TECHNOLOGIES
--

21. Votre véhicule est-il équipé de l'un des systèmes d'aide à la conduite suivants :

(Cochez une case par ligne avec un X)

	Oui	Non	Je ne sais pas
18. a. Système GPS			
18.b. Détection des angles morts			
18.c. Radar de recul (Systèmes de caméras pour vision arrière)			
18. d. Système de stationnement automatisé			
18. e. Détection des piétons/cyclistes			
18. f. Régulateur de vitesse (Cruise Control)			
18. g. Système de freinage automatique			
18. h. Régulateur de vitesse adaptatif			
18. i. Détection des lignes sur la route			

22. À quel point êtes-vous familier avec les systèmes d'assistance au conducteur suivants ? (Cochez une case par ligne avec un X)

	Très familier	Assez familier	Un petit peu familier	Pas du tout familier	Pas certain de connaître le système
19. a. Système GPS					
19.b. Détection des angles morts					
19.c. Radar de recul (Systèmes de caméras pour vision arrière)					
19. d. Système de stationnement automatisé					
19. e. Détection des piétons/cyclistes					
19. f. Régulateur de vitesse (Cruise Control)					
19. g. Système de freinage automatique					
19. h. Régulateur de vitesse adaptatif					
19. i. Détection des lignes sur la route					

23. Quelle est votre opinion générale concernant les systèmes d'assistance au conducteur suivants ? (Cochez une case par ligne avec un X)

	Très positif	Un peu positif	Neutre	Un peu négatif	Très négatif	N'a pas d'opinion
20. a. Système GPS						
20.b. Détection des angles morts						
20.c. Radar de recul (Systèmes de caméras pour vision arrière)						
20. d. Système de stationnement automatisé						
20. e. Détection des piétons/cyclistes						
20. f. Régulateur de vitesse (Cruise Control)						
20. g. Système de freinage automatique						
20. h. Régulateur de vitesse adaptatif						
20. i. Détection des lignes sur la route						

24. À quelle fréquence utilisez-vous les technologies informatiques suivantes ? (Cochez une case par ligne avec un X)

	Utilise quotidienn ement	Utilise une ou quelques fois par semaine	Utilise une ou quelques fois par mois	Utilise une ou quelques fois par an	Jamai s utilisé	Je ne connai s pas
21.1. Ordinateur						
21.2. Tablette tactile						
21.3. Téléphone cellulaire et/ou téléphone Intelligent						
21.4. Courriel						
21.5. Internet						
21.6. Appareil photo numérique						
21.7. Boîte vocale du téléphone						
21. 8. Guichet automatique bancaire (exemple : ATM)						
21.9. Système de navigation automobile (GPS)						

25. Je trouve généralement une nouvelle technologie (par exemples, une tablette ou un téléphone cellulaire les plus récents) facile à utiliser :

- Tout à fait d'accord
- D'accord
- Neutre
- Pas d'accord
- Tout à fait en désaccord

Remarques :

ANNEXE G

ÉTUDE 2 - QUESTIONNAIRE APRÈS CONDUITE – GROUPE TÉMOIN

PARTIE 1 - ÉVALUATION DE LA CHARGE MENTALE (*Veillez cocher sur les échelles ci-dessous votre ressenti*)

1. Exigence mentale (avoir besoin de beaucoup d'attention et de concentration) :

À quel point le fait de conduire était exigeant mentalement ?

Faible _____ Élevée

2. Exigence physique (activer les bras, tourner la tête, etc.) :

À quel point le fait de conduire était exigeant physiquement ?

Faible _____ Élevée

3. Exigence temporelle (le rythme de la tâche de conduite) :

À quel point avez-vous ressenti que vous deviez réagir rapidement ?

Faible _____ Élevée

4. Performance (réussite dans l'accomplissement de la tâche de conduite) :

À quel point pensez-vous avoir réussi la tâche de conduite ?

Faible _____ Élevée

5. Effort (efforts physique et mental pour faire la tâche de conduite) :

Quel degré d'effort (physique ou mental) avez-vous dû fournir pour conduire ?

Faible _____ Élevée

6. Frustration :

Pendant la conduite, à quel point vous êtes-vous senti stressé(e), irrité(e), non-confiant(e) ?

Faible _____ Élevée

[Lu à haute voix par l'expérimentateur]

Parmi les dimensions citées précédemment, je vais vous en citer deux par deux et vous allez choisir celle qui vous a demandé le plus d'effort pendant l'expérience de conduite avec le système.

Exigence mentale ou Performance	Exigence physique ou Niveau de frustration	Exigence temporelle ou Effort
Exigence temporelle ou Performance	Performance ou Effort	Niveau de frustration ou Performance
Niveau de frustration ou Exigence mentale	Exigence physique ou Exigence temporelle	Effort ou Exigence mentale
Exigence mentale ou Exigence physique	Exigence mentale ou Exigence temporelle	Exigence physique ou Effort
Niveau de frustration ou Effort	Exigence physique ou Performance	Niveau de frustration ou Exigence temporelle

ÉVALUATION DE L'EXPÉRIENCE DE CONDUITE

1. Globalement, êtes-vous satisfait de votre expérience de conduite ?

- Très satisfait
- Plutôt satisfait
- Ni satisfait ni insatisfait
- Plutôt insatisfait
- Très insatisfait

2. Était-ce la première fois que vous participiez à un projet de recherche ?

- Oui
- Non

3. Possédez-vous des systèmes d'aide à la conduite dans votre véhicule personnel ?

- Oui
- Non

4. Si oui, veuillez préciser quel(s) système(s) vous avez :

5. Est-ce que vous utilisez ce(s) système(s) lors de vos trajets avec votre véhicule ?

- Toujours
- Parfois
- De temps en temps
- Jamais

6. Peu importe votre réponse ci-dessus, pouvez-vous préciser pourquoi :

- 7. Considérez-vous utile de développer un système d'aide à la conduite pour les personnes de 60 ans et plus ?**
- Oui
 - Plutôt oui
 - Plutôt non
 - Non
- 8. Est-ce que le véhicule instrumenté vous a occasionné des troubles (physiques, visuel, etc.) lors de la conduite ?**
- Beaucoup
 - Moyennement
 - Un peu
 - Pas du tout
- 9. Est-ce que le véhicule instrumenté a perturbé votre façon de conduire ?**
- Beaucoup
 - Moyennement
 - Un peu
 - Pas du tout
- 10. Est-ce que l'expérience avec le véhicule instrumenté était contraignante (par exemple, sentiment d'insécurité, irritation, sur sollicitation, etc.) ?**
- Beaucoup
 - Moyennement
 - Un peu
 - Pas du tout

Remarques générales :

ANNEXE H

ÉTUDE 2 - QUESTIONNAIRES APRÈS CONDUITE – GROUPE
EXPERIMENTAL**PARTIE 1 - ÉVALUATION DE LA CHARGE MENTALE** (*Veillez cocher sur les échelles ci-dessous votre ressenti*)

1. **Exigence mentale (avoir besoin de beaucoup d'attention et de concentration) :** À quel point le fait de conduire avec le système était exigeant mentalement ?

Faible _____

Élevée

2. **Exigence physique (activer les bras, tourner la tête, etc.) :** À quel point le fait de conduire avec le système était exigeant physiquement ?

Faible _____

Élevée

3. **Exigence temporelle (le rythme des informations transmises) :** À quel point avez-vous ressenti que vous deviez réagir rapidement lorsque le système transmettait des informations ?

Faible _____
Élevée

4. Performance (réussite dans l'accomplissement de la tâche de conduite) :

À quel point pensez-vous que le système vous ait aidé à améliorer votre façon de conduire ?

Faible _____
Élevée

5. Effort (efforts physique et mental pour faire la tâche de conduite) :

Quel degré d'effort (physique ou mental) avez-vous dû fournir pour conduire avec le système ?

Faible _____
Élevée

6. Frustration : Pendant la conduite, à quel point vous êtes-vous senti stressé(e), irrité(e), non-confiant(e) à cause du système ?

Faible _____
Élevée

[Lu à haute voix par l'expérimentateur]

Parmi les dimensions citées précédemment, je vais vous en citer deux par deux et vous allez choisir celle qui vous a demandé le plus d'effort pendant l'expérience de conduite avec le système.

Exigence mentale ou Performance	Exigence physique ou Niveau de frustration	Exigence temporelle ou Effort
Exigence temporelle ou Performance	Performance ou Effort	Niveau de frustration ou Performance
Niveau de frustration ou Exigence mentale	Exigence physique ou Exigence temporelle	Effort ou Exigence mentale
Exigence mentale ou Exigence physique	Exigence mentale ou Exigence temporelle	Exigence physique ou Effort
Niveau de frustration ou Effort	Exigence physique ou Performance	Niveau de frustration ou Exigence temporelle

ÉVALUATION DU SYSTÈME

Dans les questions suivantes, le terme système réfère à l'application mobile et la vitre posée au-dessus du volant.

1. Globalement, êtes-vous satisfait de votre expérience de conduite ?

- Très satisfait
- Plutôt satisfait
- Ni satisfait ni insatisfait
- Plutôt insatisfait
- Très insatisfait

2. Parmi les différentes qualités suivantes, pouvez-vous les placer en ordre de 1 à 5 pour décrire le système d'affichage tête haute : (5 étant celui qui décrit le mieux à 1 étant celui qui décrit le moins bien le système) (un chiffre ne peut servir qu'une seul fois)

___ Fiable

___ Bonne qualité

___ Utile

___ Unique

___ Ergonomique

- 3. Parmi les défauts suivants, pouvez-vous les placer en ordre de 1 à 5 pour décrire le système d'affichage tête haute :** *(5 étant celui qui décrit le mieux à 1 étant celui qui décrit le moins bien le système) (un chiffre ne peut servir qu'une seul fois)*

___ Semble trop cher

___ Peu pratique

___ Inefficace

___ Mauvaise qualité

___ Non fiable

- 4. Avez-vous trouvé le système utile ?**

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

- 5. Avez-vous trouvé le système bénéfique pour vous aider à conduire de façon sécuritaire ?**

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

6. Est-ce que le fait d'avoir essayé ce système vous donne envie de l'acheter ?

- Oui
- Plutôt oui
- Plutôt non
- Non

7. Quelle est la probabilité que vous achetiez ce système éventuellement ?

- Tout à fait probable
- Probable
- Peu probable
- Pas du tout probable

8. Pouvez-vous évaluer les aspects suivants du système sur une échelle de 0 (très faible) à 10 (très élevé) :

- Son esthétique : _____/10
- Sa facilité d'utilisation : _____/10
- Son utilité : _____/10
- Son fonctionnement : _____/10
- L'apprentissage nécessaire pour l'utiliser : _____/10

9. Est-ce que ce système ressemblait à d'autres systèmes informatiques avec lesquels vous êtes familiers ?

- Oui
- Plutôt oui
- Ni oui, ni non
- Plutôt non
- Non

10. Est-ce que le système utilisait les bons termes (c'est-à-dire un vocabulaire adapté) ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

11. Les messages envoyés par le système étaient-ils compréhensibles ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

12. Est-ce que les couleurs des messages étaient adaptées ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

13. Est-ce que les pictogrammes des messages étaient adaptés ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

14. Est-ce que l'apparition des informations par le système était logique avec le contexte de conduite ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

15. Selon vous, est-ce qu'il y avait :

- Beaucoup d'information
- Assez d'information
- Pas assez d'information
- Aucune information

16. Pensez-vous que ce système puisse vous permettre de conduire plus longtemps en toute sécurité ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

17. Est-ce que les informations étaient transmises dans des délais raisonnables ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

18. Est-ce que vous auriez aimé une aide physique ou un manuel écrit pour comprendre la signification des messages envoyés par le système ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

19. Est-ce que le système vous a gêné visuellement pendant la conduite ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Rarement
- Pas du tout

Les items suivants (20 à 27) sont des affirmations qui décrivent le système que vous avez testé. Indiquez sur l'échelle votre niveau d'accord avec chacune

1. La crédibilité de l'interaction

- Selon vous, l'interface de l'application vous a inspiré confiance

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

- Selon vous, les informations données par l'application vous ont paru fiables

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

- Selon vous, les informations données par l'application vous semblent expertes et légitimes

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

2. La garantie de la confidentialité

L'interface ne vous a pas fait faire quelque chose qui expose publiquement votre vie privée. Exemple : L'application vous permet de rester anonyme face aux autres conducteurs

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

3. La personnalisation

L'interface vous présente des informations adaptées à vos besoins personnels. Exemple : Après une utilisation, l'application s'est adaptée à vos besoins (exemple : le choix de votre nom et de votre icône)

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

4. L'attractivité

L'interface présente des éléments qui sont visuellement attrayants pour capter votre attention. Exemple : Le choix des couleurs pour les messages vous incite à adapter votre conduite automobile

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

5. La sollicitation

L'interface attire votre attention pour vous inciter à modifier votre comportement de conduite. Exemple : l'interface vous suggère des idées ou des actions à réaliser dans le but d'améliorer votre conduite

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

6. L'accompagnement initial

L'interface a suscité votre intérêt à interagir avec le système. Exemple : La façon dont sont présentés les boutons dans le menu d'accueil vous donnent envie de cliquer dessus pour afficher une information

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

7. L'engagement

L'interface vous encourage à adapter votre comportement de conduite. Exemple : L'application vous amène à adopter un comportement sécuritaire

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

8. L'emprise

L'interface vous a convaincue d'utiliser régulièrement. Exemple : Vous amélioreriez votre conduite grâce à cette application mobile

1 _____ 5

(pas du tout d'accord)

(tout à fait en accord)

Remarques générales :

BIBLIOGRAPHIE

- Anstey, Kaarin J., Wood, Joanne, Lord, Stephen, & Walker, Janine G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical psychology review*, 25(1), 45-65.
- Auer, Ashley, Feese, Shelley, & Lockwood, Stephen. (2016). *History of intelligent transportation systems*. Retrieved from
- Azuma, Ronald T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 6(4), 355-385.
- Bari, Dindar S., Aldosky, Haval Y. Yacoob, Tronstad, Christian, Kalvøy, Håvard, & Martinsen, Ørjan G. (2018). Influence of Relative Humidity on Electrodermal Levels and Responses. *Skin pharmacology and physiology*, 31(6), 298-307.
- Bastien, J. M. Christian, & Scapin, Dominique L. (1993). *Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces*. Inria,
- Bobillier Chaumon, M. E., & Oprea Ciobanu, R. (2009). Les nouvelles technologies au service des personnes âgées : entre promesses et interrogations – Une revue de questions. *Psychologie Française*, 54(3), 271-285. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.psfr.2009.07.001>
- Braitman, Keli A., & Williams, Allan F. (2011). Changes in self-regulatory driving among older drivers over time. *Traffic injury prevention*, 12(6), 568-575.
- Brangier, Eric, Desmarais, Michel, Nemery, Alexandra, & Prom-Tep, Sandrine. (2015). Évolution de l'inspection heuristique: vers une intégration des critères d'accessibilité, de praticité, d'émotion et de persuasion dans l'évaluation ergonomique. *Journal d'Interaction Personne-Système (JIPS)*, 4(1), 69-84.
- Buisine, S., & Martin, J. C. (2005). *Conception d'une interface multimodale à partir des comportements utilisateurs: l'utilisation du Magicien d'Oz en conception*.
- Bunce, David, & Sisa, Laura. (2002). Age differences in perceived workload across a short vigil. *Ergonomics*, 45(13), 949-960.
- Cantin, Vincent, Lavallière, Martin, Simoneau, Martin, & Teasdale, Normand. (2009). Mental workload when driving in a simulator: Effects of age and driving complexity. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 763-771.
- Castillejo, Eduardo, Almeida, Aitor, & López-de-Ipina, Diego. (2013). *User, context and device modeling for adaptive user interface systems*. Paper

- presented at the International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence.
- Castro, Candida. (2008). *Human factors of visual and cognitive performance in driving*: CRC Press.
- Cegarra, Julien, & Chevalier, Aline. (2008). The use of Tholos software for combining measures of mental workload: Toward theoretical and methodological improvements. *Behavior Research Methods*, 40(4), 988-1000.
- Cegarra, Julien, & Morgado, Nicolas. (2009). *Étude des propriétés de la version francophone du NASATLX*. Paper presented at the Communication présentée à la cinquième édition du colloque de psychologie ergonomique (Epique).
- Charlton, Judith L., Oxley, Jennifer, Fildes, Brian, Oxley, Penny, Newstead, Stuart, Koppel, Sjaanie, & O'Hare, Mary. (2006). Characteristics of older drivers who adopt self-regulatory driving behaviours. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(5), 363-373.
- Clarion, Antoine. (2009). *Electrodermal indices for mental workload analysis in car driving*. Université Claude Bernard - Lyon I, Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00496828>
- Clarys, David, Souchay, Céline, Baudouin, Alexia, Fay, Séverine, Vanneste, Sandrine, Tacconat, Laurence, & Isingrini, Michel. (2007). Contribution des fonctions exécutives et de la vitesse de traitement au vieillissement de la mémoire épisodique. *L'Année psychologique*, 107(1), 15-38.
- Collet, C., Salvia, E., & Petit-Boulanger, C. (2014). Measuring workload with electrodermal activity during common braking actions. *Ergonomics*, 57(6), 886-896.
- Cutean, Alexandra. (2017). Les véhicules autonomes et l'avenir du travail au Canada. In. Ottawa, Canada: Conseil des Technologies de l'Information et des Communications (CTIC).
- Czaja, Sara J., & Lee, Chin Chin. (2002). *Designing computer systems for older adults*. Paper presented at the The human-computer interaction handbook.
- Dahlbäck, Nils, Jönsson, Arne, & Ahrenberg, Lars. (1993). Wizard of Oz studies—why and how. *Knowledge-based systems*, 6(4), 258-266.
- Davidse, Ragnhild J. (2006). Older drivers and ADAS: Which systems improve road safety? *IATSS research*, 30(1), 6-20.
- Dickerson, Anne E., Molnar, Lisa J., Eby, David W., Adler, Geri, Bedard, Michel, Berg-Weger, Marla, . . . Kerschner, Helen. (2007). Transportation and aging: A research agenda for advancing safe mobility. *The Gerontologist*, 47(5), 578-590.
- Dingus, Thomas A., Hulse, Melissa C., McGehee, Daniel V., & Manakkal, Raj. (1994). *Driver performance results from the TravTek IVHS camera car evaluation study*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.

- Donorfio, Laura K. M., Mohyde, Maureen, Coughlin, Joseph, & D'Ambrosio, Lisa. (2008). A qualitative exploration of self-regulation behaviors among older drivers. *Journal of aging & social policy*, 20(3), 323-339.
- Duncan, Mike, Charness, Neil, Chapin, Tim, Horner, Mark, Stevens, Lindsay, Richard, Amanda, . . . Morgan, Donald. (2015). *Enhanced mobility for aging populations using automated vehicles*. Retrieved from
- Dupont, Emmanuelle, Martensen, Heike, Papadimitriou, Eleonora, & Yannis, George. (2010). Risk and protection factors in fatal accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 645-653.
- Eby, David W., & Molnar, Lisa J. (2012). *Has the Time Come for an Older Driver Vehicle?* Retrieved from
- Eby, David W., & Molnar, Lisa J. (2014). Has the time come for older driver vehicle? *Journal of ergonomics*, 2014.
- Eby, David W., Molnar, Lisa J., Zhang, Liang, Louis, Renée M. St, Zanier, Nicole, Kostyniuk, Lidia P., & Stanciu, Sergiu. (2016). Use, perceptions, and benefits of automotive technologies among aging drivers. *Injury epidemiology*, 3(1), 28.
- Edwards, Jerri D., Perkins, Martinique, Ross, Lesley A., & Reynolds, Sandra L. (2009). Driving status and three-year mortality among community-dwelling older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 64(2), 300-305.
- Farage, Miranda A., Miller, Kenneth W., Ajayi, Funmi, & Hutchins, Deborah. (2012). Design principles to accommodate older adults. *Global journal of health science*, 4(2), 2.
- Fisk, Arthur D, Rogers, Wendy A, Charness, Neil, Czaja, Sara J, & Sharit, Joseph. (2009). *Designing for older adults: Principles and creative human factors approaches*: CRC press.
- Fogg, Brian J. (1998). *Persuasive computers: perspectives and research directions*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems.
- Fontaine, Hélène. (2003). Âge des conducteurs de voiture et accidents de la route: Quel risque pour les seniors? *Recherche-Transports-Securite*, 79, 107-120.
- Forzy, Jean-François. (2004). 39. Conduite automobile et conception ergonomique. In *Ergonomie* (pp. 647-664): Presses Universitaires de France.
- Foulonneau, Anthony, Calvary, Gaëlle, & Villain, Eric. (2015). Etat de l'art en conception de systèmes persuasifs. *Journal d'Interaction Personne-Système (JIPS)*, 4(1), 19-47.
- Fozard, James L., & Wahl, Hans-Werner. (2012). Age and cohort effects in gerontechnology: A reconsideration. *Gerontechnology*.

- Giffard, Bénédicte, Desgranges, Béatrice, & Eustache, Francis. (2001). Le vieillissement de la mémoire: vieillissement normal et pathologique. *Gérontologie et société*, 24(2), 33-47.
- Gruau, Sandrine, Pottier, Annick, Davenne, Damien, & Denise, Pierre. (2003). Les facteurs d'accidents de la route par somnolence chez les conducteurs âgés: Prévention par l'activité physique. *Recherche-Transports-Sécurité*, 79, 134-144.
- Hart, Sandra G., & Staveland, Lowell E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 139-183): Elsevier.
- Hess, Thomas M. (2014). Selective engagement of cognitive resources: Motivational influences on older adults' cognitive functioning. *Perspectives on Psychological Science*, 9(4), 388-407.
- Hewett, Thomas T., Baecker, Ronald, Card, Stuart, Carey, Tom, Gasen, Jean, Mantei, Marilyn, . . . Verplank, William. (1992). *ACM SIGCHI curricula for human-computer interaction*: ACM.
- Iso. (2009). 9241-210: 2010. Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centred design for interactive systems. In *International Standardization Organization (ISO). Switzerland*.
- Johansson, E., Engström, J., Cherri, C., Nodari, E., Toffetti, A., Schindhelm, R., & Gelau, C. (2004). Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment. *Adaptive Integrated Driver Vehicle Interface (AIDE) Product number: IST-1-507674-IP*.
- Jung, Sebin, & Qin, Shengfeng. (2014). Development of safe-driving-system features for elderly drivers. *Systems Science & Control Engineering: An Open Access Journal*, 2(1), 699-706.
- Kim, SeungJun, & Dey, Anind K. (2009). *Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- Kim, SeungJun, & Dey, Anind K. (2015). Augmenting human senses to improve the user experience in cars: applying augmented reality and haptics approaches to reduce cognitive distances. *Multimedia Tools and Applications*, 1-21.
- Kujala, Sari. (2003). User involvement: a review of the benefits and challenges. *Behaviour & Information Technology*, 22(1), 1-16.
- Lajus, Anthony. (2011). *Évaluation d'un système d'aide à l'éco-conduite*. Département Ergonomie, Design et Ingénierie Mécanique, Université de technologies de Belfort-Montbéliard.
- Langford, Jim, & Koppel, Sjaanie. (2011). Licence restrictions as an under-used strategy in managing older driver safety. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 487-493.

- Lee, Chaiwoo, & Coughlin, Joseph F. (2015). PERSPECTIVE: older adults' adoption of technology: an integrated approach to identifying determinants and barriers. *Journal of Product Innovation Management*, 32(5), 747-759.
- Lemercier, Céline, & Cellier, Jean-Marie. (2008). Les défauts de l'attention en conduite automobile: inattention, distraction et interférence. *Le travail humain*, 71(3), 271-296.
- Leung, Rock, McGrenere, Joanna, & Graf, Peter. (2011). Age-related differences in the initial usability of mobile device icons. *Behaviour & Information Technology*, 30(5), 629-642.
- Li, Guohua, Braver, Elisa R., & Chen, Li-Hui. (2003). Fragility versus excessive crash involvement as determinants of high death rates per vehicle-mile of travel among older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 35(2), 227-235.
- Liu, Yung-Ching, & Wen, Ming-Hui. (2004). Comparison of head-up display (HUD) vs. head-down display (HDD): driving performance of commercial vehicle operators in Taiwan. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61(5), 679-697.
- McGwin Jr, Gerald, Sims, Richard V., Pulley, LeaVonne, & Roseman, Jeffrey M. (2000). Relations among chronic medical conditions, medications, and automobile crashes in the elderly: a population-based case-control study. *American journal of epidemiology*, 152(5), 424-431.
- Mehler, Bruce, Reimer, Bryan, Lavallière, Martin, Dobres, Jonathan, & Coughlin, Joseph F. (2014). Evaluating technologies relevant to the enhancement of driver safety.
- Meschtscherjakov, Alexander, Wilfinger, David, Scherndl, Thomas, & Tscheligi, Manfred. (2009). *Acceptance of future persuasive in-car interfaces towards a more economic driving behaviour*. Paper presented at the Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.
- Michon, John A. (1979). Le traitement de l'information temporelle. *Du temps biologique au temps psychologique*, 264-296.
- Michon, John A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-524): Springer.
- Millot, Patrick. (2013). *Ergonomie des systèmes homme-machine: Conception et coopération* Lavoisier.
- Molnar, Lisa J., Eby, David W., Charlton, Judith L., Langford, Jim, Koppel, Sjaan, Marshall, Shawn, & Man-Son-Hing, Malcolm. (2013). Driving avoidance by older adults: Is it always self-regulation? *Accident Analysis & Prevention*, 57, 96-104.

- Munduteguy, Christophe, & Darses, Françoise. (2007). Perception et anticipation du comportement d'autrui en situation simulée de conduite automobile. *Le travail humain*, 70(1), 1-32.
- Nations Unies. (2015). *World Population Ageing 2015*. Retrieved from http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WPA2015_Report.pdf
- Neboit, Michel. (1980). L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes. L'exemple de la conduite automobile.
- Nielsen, Jakob. (1994). *Usability inspection methods*. Paper presented at the Conference companion on Human factors in computing systems.
- Norman, Donald A. (1988). The psychology of everyday things.(The design of everyday things). In: Basic Books.
- Némery, Alexandra, & Brangier, Eric. (2014). Set of guidelines for persuasive interfaces: organization and validation of the criteria. *Journal of Usability Studies*, 9(3), 105-128.
- OCDE. (2001). *Ageing and transport: Mobility needs and safety issues*: Organization for Economic.
- OMS. (2018). Vieillesse et Santé. In.
- Owsley, Cynthia, & McGwin, Gerald. (2010). Vision and driving. *Vision research*, 50(23), 2348-2361.
- Oxley, Jennifer, Fildes, Brian, Corben, Bruce, & Langford, Jim. (2006). Intersection design for older drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(5), 335-346.
- Oxley, Jennifer, Langford, Jim, Koppel, Sjaanie, & Charlton, Judith. (2013). Senior driving longer, smarter, safer: enhancement of an innovative educational and training package for the safe mobility of seniors. *Monash University Accident Research Centre, Monash Injury Research Institute*.
- Paris, Jean-Christophe. (2014). *Cognitive engineering for elderly driver assistance : analysis and modelling of the driving activity in ecological situation's, for the design of monitoring functions*. Université de Bordeaux, Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01236627>
- Paris, Jean-Christophe, Bellet, Thierry, Marin-Lamellet, Claude, Cour, Maurice, Boverie, Serge, & Claverie, Bernard. (2015). Assistance aux conducteurs âgés: Analyse de l'activité pour la conception de futures fonctions de monitoring de la conduite automobile. *Recherche Transports Sécurité*, 2014(04), 227-243.
- Pauzie, Annie. (2013). Ergonomie de la conduite automobile. In: Ergonomie, Travail, Conception, Santé. In: OCTARES.
- Pauzie, Annie. (2015). *Head Up Display in automotive: a new reality for the driver*. Paper presented at the International Conference of Design, User Experience, and Usability.

- Pauzié, Annie. (2008). A method to assess the driver mental workload: The driving activity load index (DALI). *IET Intelligent Transport Systems*, 2(4), 315-322.
- Pauzié, Annie. (2014). Evaluation of the driver's mental workload: a necessity in a perspective of in-vehicle system design for road safety improvement. *Cognition, Technology & Work*, 16(3), 299-302.
- Peleg-Adler, Rinat, Lanir, Joel, & Korman, Maria. (2018). The effects of aging on the use of handheld augmented reality in a route planning task. *Computers in Human Behavior*, 81, 52-62.
- Pochet, Pascal. (2003). Mobilité et accès à la voiture chez les personnes âgées: évolutions actuelles et enjeux. *Recherche-Transports-Sécurité*, 79, 93-106.
- Rakotonirainy, Andry, & Steinhardt, Dale. (2009). *In-vehicle technology functional requirements for older drivers*. Paper presented at the Proceedings of the 1st international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications.
- Rasmussen, Jens. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*(3), 257-266.
- Reimer, Bryan. (2014). Driver assistance systems and the transition to automated vehicles: A path to increase older adult safety and mobility? *Public Policy & Aging Report*, 24(1), 27-31.
- Reimer, Bryan, Mehler, Bruce, & Coughlin, Joseph F. (2010). An evaluation of driver reactions to new vehicle parking assist technologies developed to reduce driver stress. *Cambridge: New England University Transportation Center, Massachusetts Institute of Technology*.
- Ruer, Perrine, Ferreira, Susan M., Gouin-Vallerand, Charles, & Vallières, Évelyne F. (2017). *Designing a Mobile Application for Older Adults: A Case Study to improve Safe Driving*. Paper presented at the CHI 2017, Workshop on Mobile Interface Design with Older Adults, Denver, CO, États-Unis.
- Ruer, Perrine, Gouin-Vallerand, Charles, & Vallières, Évelyne. F. (2016). *Persuasive Strategies to Improve Driving Behaviour of Elderly Drivers by a Feedback Approach*. Paper presented at the International Conference on Persuasive Technology.
- Schall, Mark C., Rusch, Michelle L., Lee, John D., Dawson, Jeffrey D., Thomas, Geb, Aksan, Nazan, & Rizzo, Matthew. (2012). Augmented reality cues and elderly driver hazard perception. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 0018720812462029.
- Schneegass, Stefan, Pfleging, Bastian, Broy, Nora, Heinrich, Frederik, & Schmidt, Albrecht. (2013). *A data set of real world driving to assess driver workload*. Paper presented at the Proceedings of the 5th

- international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications.
- Schätzl, Johannes. (2015). How Effective are Persuasive Technologies in Automotive Context. *Persuasive Technologies and Applications*.
- Shakshuki, Elhadi M., Alghamdi, Wael, & Sheltami, Tarek. (2013). Integrated context-aware driver assistance system architecture. *Mobile Information Systems*, 9(3), 225-240.
- Shi, Yu, Choi, Eric H. C., Ruiz, N., Chen, F., & Taib, R. (2007). *Galvanic Skin Response (GSR) as an index of cognitive workload*. Paper presented at the ACM CHI Conference Work-in-progress.
- Shneiderman, Ben. (1988). We can design better user interfaces: a review of human-computer interaction styles. *Ergonomics*, 31(5), 699-710.
- Simões, Anabela, & Pereira, Marta. (2009). *Older drivers and new in-vehicle technologies: Adaptation and long-term effects*. Paper presented at the International Conference on Human Centered Design.
- Siren, Anu, & Hakamies-Blomqvist, Liisa. (2006). Does gendered driving create gendered mobility? Community-related mobility in Finnish women and men aged 65+. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(5), 374-382.
- Siren, Anu, Hakamies-Blomqvist, Liisa, & Lindeman, Marjaana. (2004). Driving cessation and health in older women. *Journal of Applied Gerontology*, 23(1), 58-69.
- Sivak, Michael, & Schoettle, Brandon. (2012). Recent changes in the age composition of drivers in 15 countries. *Traffic injury prevention*, 13(2), 126-132.
- Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ). (2018). Tableau Nombre de titulaires d'un permis de conduire ou d'un permis probatoire selon le sexe et l'âge, Québec et régions administratives. Retrieved from http://www.bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken213_afich_tabl.page_tabl?p_ide_n_tran=REPERZPDCXF53-42519833746F2E%5b3&p_lang=1&p_m_o=SAAQ&p_id_raprt=3370
- Solovey, Erin T., Zec, Marin, Garcia Perez, Enrique Abdon, Reimer, Bryan, & Mehler, Bruce. (2014). *Classifying driver workload using physiological and driving performance data: two field studies*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- Son, Joonwoo, Mehler, Bruce, Lee, Taeyoung, Park, Yunsuk, Coughlin, Joseph, & Reimer, Bryan. (2011). Impact of cognitive workload on physiological arousal and performance in younger and older drivers.
- Souders, Dustin, & Charness, Neil. (2016). *Challenges of older drivers' adoption of advanced driver assistance systems and autonomous vehicles*. Paper presented at the International Conference on Human Aspects of IT for the Aged Population.

- Stalvey, Beth T., & Owsley, Cynthia. (2000). Self-perceptions and current practices of high-risk older drivers: Implications for driver safety interventions. *Journal of Health Psychology, 5*(4), 441-456.
- Staplin, Loren, Lococo, Kathy H, Martell, Carol, & Stutts, Jane. (2012). *Taxonomy of older driver behaviors and crash risk*. Retrieved from
- Statistique Canada. (2017). Tableau 17-10-0005-01 Estimations de la population au 1er juillet, par âge et sexe. Retrieved from <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=1710000501#timeframe>
- Steen, Marc, Kuijt-Evers, Lottie, & Klok, Jente. (2007). *Early user involvement in research and design projects—A review of methods and practices*. Paper presented at the 23rd EGOS Colloquium (European Group for Organizational Studies).
- Stewart, Kate, & Williams, Matthew. (2005). Researching online populations: the use of online focus groups for social research. *Qualitative Research, 5*(4), 395-416.
- Suen, S. Ling, & Mitchell, C. G. B. (2000). Accessible transportation and mobility. *Transportation in the New Millennium*.
- Summala, Heikki, Nieminen, Tapio, & Punto, Maaret. (1996). Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks. *Human factors, 38*(3), 442-451.
- Tretten, Phillip, Gärling, Anita, Nilsson, Rickard, & Larsson, Tobias C. (2011). *An on-road study of head-up display: preferred location and acceptance levels*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Tufano, Daniel R. (1997). Automotive HUDs: The overlooked safety issues. *Human factors, 39*(2), 303-311.
- Van Elslande, Pierre. (1992). Les erreurs d'interprétation en conduite automobile: mauvaise catégorisation ou activation erronée de schémas? *Intellectica-La revue de l'Association pour la Recherche sur les sciences de la Cognition (ARCo)*(15), p125-149.
- Van Elslande, Pierre. (2000). L'erreur humaine dans les scénarios d'accident cause ou conséquence? *Recherche - Transports - Sécurité, 66*, 7-31. doi:[https://doi.org/10.1016/S0761-8980\(00\)90002-5](https://doi.org/10.1016/S0761-8980(00)90002-5)
- Van Elslande, Pierre. (2003). Les erreurs des conducteurs âgés. *Recherche-Transports-Sécurité, 81*, 190-202.
- Webber, Sandra C., Porter, Michelle M., & Menec, Verena H. (2010). Mobility in older adults: a comprehensive framework. *The Gerontologist, 50*(4), 443-450.
- Weintraub, D. J., & Ensing, M. J. (1992). The book of HUD: A head-up display state of the art report (No. CSERIAC State of the art report). *Wright-Patterson Air Force Base, OH: Armstrong Aerospace Medical Research Lab*.

- Wierwille, Walter W., & Casali, John G. (1983). *A validated rating scale for global mental workload measurement applications*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors society Annual Meeting.
- Williams, Drew, Alam, Mohammad Arif Ul, Ahamed, Sheikh Iqbal, & Chu, William. (2013). *Considerations in designing human-computer interfaces for elderly people*. Paper presented at the 2013 13th International Conference on Quality Software.
- Wittmann, Marc, Kiss, Miklós, Gugg, Peter, Steffen, Alexander, Fink, Martina, Pöppel, Ernst, & Kamiya, Hiroyuki. (2006). Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving. *Applied ergonomics*, 37(2), 187-199.
- Zickuhr, Kathryn, & Madden, Mary. (2012). Older adults and internet use. *Pew Internet & American Life Project*, 6.