



HAL
open science

Ingénierie cognitive pour l'aide à la conduite automobile de la personne âgée : analyse et modélisation de l'activité de conduite en situation naturelle pour la conception de fonctions de monitoring

Jean-Christophe Paris

► **To cite this version:**

Jean-Christophe Paris. Ingénierie cognitive pour l'aide à la conduite automobile de la personne âgée : analyse et modélisation de l'activité de conduite en situation naturelle pour la conception de fonctions de monitoring. Sciences cognitives. Université de Bordeaux, 2014. Français. NNT : 2014BORD0425 . tel-01236627

HAL Id: tel-01236627

<https://theses.hal.science/tel-01236627>

Submitted on 2 Dec 2015

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

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

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE
DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES PHYSIQUES ET DE L'INGENIEUR
SPÉCIALITÉ COGNITIVE

Par Jean-Christophe PARIS

**Ingénierie Cognitive pour l'aide à
la conduite automobile de la personne âgée :**
**Analyse et modélisation de l'activité de conduite en situation naturelle
pour la conception de fonctions de monitoring**

Sous la direction de : Bernard CLAVERIE
(Co-directeur : Thierry BELLET)

Soutenue publiquement, le 19 Décembre 2014

Devant la commission d'examen composée de :

M. DOMENGER, Jean-Philippe
M. BOY, Guy
M. MARQUIE, Jean-Claude
M. BOVERIE, Serge
M. BELLET, Thierry
M. CLAVERIE, Bernard

Professeur, Université de Bordeaux
Professeur, Florida Institute of Technology
Directeur de Recherche, CNRS
HDR, Continental Automotive France
Chargé de Recherche, IFSTTAR Bron
Professeur, Bordeaux INP

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Co-directeur
Directeur

Ingénierie Cognitive pour l'aide à la conduite automobile de la personne âgée : Analyse et modélisation de l'activité de conduite en situation naturelle pour la conception de fonctions de monitoring.

Résumé :

Cette thèse en Cognitive se focalise sur la « Conception Centrée sur l'Humain » (Human Centred Design) de futures assistances à la conduite automobile, adaptées aux conducteurs âgés (ou Elderly Adapted Driver Assistance Systems).

Pour ce faire, la démarche proposée repose sur une approche et une méthodologie pluridisciplinaire. Sur le plan ergonomique, il s'agit de mieux connaître les spécificités de la population des conducteurs âgés, dans le but d'identifier des difficultés et des besoins en assistance. A cette fin, 76 conducteurs âgés (de 70 à 87 ans) ont conduit un véhicule instrumenté, immergé dans le trafic. Le corpus de données comporte 2100 kilomètres de conduite et 1400 situations de conduite autoévaluées par les conducteurs, complétés par 6 Focus Group (30 conducteurs âgés).

Le second volet, relevant d'une démarche d'Ingénierie Cognitive, vise à concevoir et développer des fonctions de « monitoring » à partir du corpus de données. L'objectif est de disposer de modèles et de fonctions d'analyse temps-réel capables (1) de superviser l'activité de conduite des conducteurs âgés (2) en regard du contexte ou des risques situationnels, afin de (3) diagnostiquer des difficultés ou erreurs de conduite, à des fins d'adaptativité des assistances. Des fonctions de monitoring en lien avec les contrôles de base du véhicule (gestion de la vitesse, positionnement dans la voie et la gestion de l'espace inter-véhiculaire avant) sont développées. Sur cette base, des fonctions de monitoring plus intégrées pour l'aide aux franchissements d'intersections (Tourne-à-Gauche) et l'assistance à l'insertion sur voies rapides (et au changement de voie) sont également proposées.

Mots clés : Monitoring ; conduite automobile ; conducteurs âgés ; conception centrée sur l'Humain ; systèmes d'aide à la conduite ; E-ADAS.

Cognitive Engineering for elderly driver assistance: analysis and modelling of the driving activity in ecological situation's, for the design of monitoring functions.

Abstract:

This thesis in Cognitics presents a Human Centered Design approach for the development of future driving assistance systems dedicated to elderly drivers or Elderly Adapted Driver Assistance Systems (E-ADAS).

To do so, this work relies on a multi-disciplinary approach for data collection and analysis. Regarding Ergonomics, the aim is to better understand the specific requirements of this population in order to identify their actual difficulties and actual needs of assistance. In this frame, 76 drivers (aged from 70 to 87 years old) took part to an on-the-road experiment, driving an instrumented car. The dataset includes 2100 km of ecological driving data and 1400 auto-evaluated driving situations, completed by 6 Focus Groups (involving 30 elderly drivers).

The second part of this research, relying on Cognitive Engineering, explores the design and implementation of monitoring functions based on the aforementioned dataset. The objective is to have real-time models and analytical functions, able to: (1) supervise the driving activity as realized by an elderly driver, (2) taking in to consideration the driving context or situational risks (3) in order to detect difficulties or driving errors. Beyond this thesis, these diagnostics will have to be integrated in assistive systems to better adapt their support to the specific needs of elderly drivers. Specific monitoring functions related to basic vehicle control (speed management, lane positioning and headway regulation) are presented. Based on these results, integrated monitoring functions for intersection crossings in Left-Turn manoeuver, highway merging assistance, and, more broadly, lane change assistance are introduced.

Keywords: Monitoring; car driving; elderly drivers; human centered design; driving assistance systems; E-ADAS.

Unité de recherche

Laboratoire d'Intégration du Matériau au Systèmes – IMS, UMR5218
351 Cours de la libération, 33405 Talence cedex, France.

*« La liberté n'est pas la possibilité de réaliser tous ses caprices ;
elle est la possibilité de participer à la définition
des contraintes qui s'imposeront à tous ».*

Albert Jacquard

*« Toute avancée des connaissances génère autant
d'interrogations qu'elle apporte de réponses ».*

Pierre Joliot

*« En poussant l'aiguille du cadran
vous ne ferez pas avancer l'heure ».*

Victor Hugo

À mes parents, ma sœur et mon neveu,

À Margot.

Remerciements

Au terme de la rédaction de ce manuscrit, il vient le classique mais néanmoins important moment de présenter les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont permis la réalisation de ce travail, en les remerciant pour leur contribution.

Tout d'abord, Monsieur le Professeur Bernard Claverie, Directeur de l'ENSC (*École Nationale Supérieure de Cognitique*) pour avoir accepté de diriger cette thèse ainsi que le Docteur Thierry Bellet, Chargé de Recherche à l'*IFSTTAR-LESCOT*, pour en avoir assuré la co-direction. Mais aussi, la Direction du *LESCOT*, pour m'avoir accueilli dans ses locaux et donné accès à des moyens expérimentaux de qualité.

Je remercie Mr le Professeur Guy André Boy du *Florida Institute of Technology* et le Docteur Jean-Claude Marquié (CNRS), d'avoir accepté d'être mes rapporteurs.

Je tiens également à remercier Mr Serge Boverie, HDR chercheur associé au *LAMIH* et Senior Expert & Senior Manager chez *Continental Automotive France* ainsi que Mr le Professeur Jean-Philippe Domenger du *LaBRI*, pour avoir acceptés de participer à l'évaluation de ce travail en prenant part à la commission d'examen de cette thèse.

Aussi, je remercie les collègues du *LESCOT*, anciens et actuels, pour leurs apports respectifs ; ceux avec qui j'ai eu la chance d'échanger directement et ceux dont les recherches m'ont offertes de réelles sources d'inspiration et des bases sérieuses pour travailler.

Les nombreux échanges avec l'équipe de Continental, plus particulièrement avec Maurice Cour, ont été très riches d'apprentissages. Son expertise nous a offert des données de qualité ouvrant des perspectives très intéressantes et sans lesquelles nous n'aurions pu aller aussi loin, je l'en remercie vivement.

Un mot également pour remercier Rosa Aiboud, la monitrice auto-école qui nous a apporté son expertise durant les 76 expérimentations sur route. Nos échanges, en attendant les participants et lors des compte-rendus post-conduite, furent très enrichissants. Sans oublier Cécilia Gabel et Fanny Comte qui assuraient avec brio la logistique mais surtout l'accueil des participants dans le cadre d'un autre volet expérimental mené conjointement.

En songeant à ces remerciements, l'idée m'est venue de dédier les différents chapitres de ce manuscrit aux personnes qui ont comptées au cours de ce projet professionnel et personnel.

Le chapitre 1, qui est le point de départ de ce manuscrit, est dédié aux enseignants, intervenants, professeurs, chercheurs et industriels qui ont marqués mon cursus universitaire et professionnel. Quelles que soient les disciplines ou les sujets abordés, vos cours, conférences ou articles m'ont permis d'arriver jusqu'ici et je vous en suis très reconnaissant.

Le chapitre 2, qui porte quant à lui sur l'analyse de l'activité et l'application de ces principes à l'automobile est dédié au Docteur Béatrice Bailly qui m'a donné la possibilité de participer à ses travaux dans le cadre de mon stage de quatrième année ENSC. Elle a su aiguïser ma curiosité pour l'analyse de données expérimentales et aura participé à ma décision, quelques années plus tard, de m'engager dans l'aventure de la thèse, je l'en remercie.

Le chapitre 3 centré sur le vieillissement et ses effets sur la conduite, est dédié à mes grands parents. J'aurai vivement souhaité pouvoir les observer au volant, mais surtout j'aurais aimé partager plus avec eux. Vous me manquez.

Le chapitre 4, qui se focalise sur les aides à la conduite et l'assistance au conducteur, est dédié à ma co-pilote tant aimée, Margot. D'un soutien sans faille tout au long de ce périple, dans le meilleur comme dans le pire, tu as supporté mes absences et assuré d'une main de maître la bonne avancée de notre embarcation, d'autant plus que l'échéance approchait. Je ne parle même pas de tes encouragements continus et des dizaines de pages relues et autres examinations de tournures de phrases pour le manuscrit. Je souhaite plus que tout que nous poursuivions notre route ensemble, jusqu'à devenir un couple heureux de conducteurs âgés.

Le chapitre 5, qui positionne l'approche de *Human-Centered Design* appliquée à la conception de fonctions de monitoring est dédié au Docteur Thierry Bellet, véritable chef d'orchestre de cette recherche qui m'a guidé à travers le brouillard et m'a donné les clés pour avancer. Toutes ces métaphores et ces heures de discussions m'ont beaucoup appris. Trouve en ce manuscrit l'expression de ma sincère gratitude pour l'excellence scientifique de tes travaux, la qualité de ton encadrement et ta bienveillance.

Les chapitres 6 et 7, qui rendent compte des observations sur route et des 6 séances de Focus Group qui complétaient notre méthodologie expérimentale sont dédiés aux 76 conducteurs âgés qui ont acceptés de participer à cette recherche. De nombreuses anecdotes me resteront de ces échanges, toujours sympathiques et parfois émouvants. Je leur souhaite à tous une excellente continuation. Ces chapitres sont également dédiés à Philippe Deleurence et Bruno Piechnick alias mes « p'pa » du labo. Sans vous, le véhicule instrumenté et la plupart des moyens expérimentaux du LESCOT ne seraient pas ce qu'ils sont, bravo et merci.

Le chapitre 8, qui est l'aboutissement de ce travail et ouvre des perspectives nombreuses et stimulantes est dédié au Docteur Sami Lini ainsi qu'à Monsieur Axel Johnston, restés très proches depuis la sortie de l'ENSC. Notre entente sur le plan personnel et professionnel est précieuse et notre complémentarité est une force. Je dirais qu'à présent, les choses sérieuses peuvent commencer.

Il serait malvenu d'oublier d'autres personnes qui ont partagées cette aventure au quotidien, par exemple les collègues du premier étage comme Bertrand (ô grand relecteur), JC (pour avoir ouvert la route), Daniel, Matthew ou Fabien, pour les soupapes journalières et les hectolitres de café. Mais également Pierre, pour sa grande sagesse, que j'ai eu la chance de côtoyer avant que cette thèse ne débute.

Aussi je remercie les bénévoles du Festival Paléo de Nyon qui font partie de la deuxième grande aventure enrichissante à laquelle j'aurai pris part dans le temps de cette thèse.

D'autres qui ont parfois subi les dommages collatéraux de cette aventure comme ma famille et amis proches qu'il m'aura fallu délaisser quelque peu durant les derniers mois, qu'ils m'en excusent. Un mot également pour Philippe et Danièle qui ont répondu présents, notamment pour la relecture et se sont montrés très attentionnés et intéressés par l'évolution de cette recherche. Pour votre soutien et pour être des personnes sur qui on peut compter, recevez mes sincères remerciements.

Enfin, le manuscrit dans son ensemble est dédié à mes parents qui m'ont inculqués les valeurs qui m'ont été des plus utiles pour mener à bien ce travail : la curiosité et l'ouverture d'esprit dans la fouille bibliographique, l'imagination et la créativité dans la conception des outils et des méthodes utilisées aux différentes étapes de cette thèse, la méthode et la rigueur dans le suivi de la progression, ainsi que la persévérance et le réalisme dans les derniers mois de labeur. Vous pouvez être fiers de vous pour l'éducation que vous m'avez transmise et des efforts que vous avez consentis pour que je dispose du luxe de faire ce qui me plaît !

Informations au lecteur

Pour plus de confort, ce manuscrit intègre des liens cliquables pour se déplacer rapidement dans les différentes sections. Ces liens apparaissent en bleu dans le texte, que ce soit pour des références bibliographiques, pour les références et les titres des figures et des tableaux, ou encore pour le renvoi d'une section à une autre.

Ce manuscrit comporte de nombreuses illustrations de conducteurs observés dans le cadre de leur activité de conduite au volant d'un véhicule instrumenté. Pour des raisons de confidentialité, les visages de ces conducteurs ont été masqués.

Table des matières

Résumé	iii
Remerciements	vii
Informations au lecteur	ix
Introduction générale	1
Contexte général et questions de recherche	1
Organisation du manuscrit	2
1 Activité de conduite automobile	5
1.1 Caractéristiques générales de l'activité de conduite	6
1.1.1 Une activité quotidienne règlementée et très répandue	6
1.1.2 Une dynamique exigeante dans un système routier hétérogène	7
1.1.3 Une forte composante d'interactions	7
1.1.4 Une activité à risques	8
1.2 Une activité multi-niveaux : du cognitif au sensori-moteur	8
1.2.1 Les niveaux de contrôle de Rasmussen : Skill, Rule et Knowledge	9
1.2.2 Les niveaux Stratégique, Tactique et Opérationnel de Michon	10
1.2.3 Connaissances déclaratives et connaissances procédurales	11
1.2.4 Processus contrôlés et processus automatiques	12
1.2.5 La conduite automobile comme une activité de régulation dynamique	13
1.3 La conduite du point de vue des processus cognitifs	15
1.3.1 Des modèles centrés sur le risque à la cognition du conducteur	15
1.3.2 La gestion de ses propres ressources	17
1.3.3 Processus perceptifs bottom-up et top-down	18
1.3.4 Les schémas de conduite	18
1.3.5 La mémoire de travail dans l'architecture cognitive du conducteur	20
1.4 Le rôle central des représentations mentales en conduite	21
1.4.1 Définition et intégration dans la boucle de régulation	21
1.4.2 Représentations mentales explicites et implicites	22
1.4.3 Des représentations mentales à la « <i>Conscience de la situation</i> »	23
1.4.4 De la conscience de la situation à la conscience du risque	24
1.5 Conclusion synthétique	27
2 Analyse de l'activité de conduite automobile	29
2.1 L'analyse de l'activité en Ergonomie	30
2.1.1 Le concept d'activité	30
2.1.1.1 Distinction entre tâche et activité	31
2.1.1.2 Dimensions observables et non observables de l'activité	31
2.1.2 Analyse de l'activité : principes, outils et méthodes	32
2.1.2.1 Mesure de l'activité observable	32

2.1.2.2	Accès à l'activité non observable	33
2.1.2.3	Étude de cas pour l'analyse de l'activité	33
2.1.2.4	Modélisation de l'activité	34
2.1.2.5	Performance, dysfonctionnements et erreurs	34
2.2	L'analyse de l'activité dans le cadre de la conduite automobile	35
2.2.1	Tâches et activité de conduite	35
2.2.2	Enregistrement de l'activité de conduite en situation naturelle	36
2.2.3	Explicitation de l'activité non observable consécutive à la conduite	36
2.2.4	Performance, dysfonctionnement et erreurs de conduite	36
2.2.4.1	Mesure de la performance de conduite	37
2.2.4.2	Analyse des dysfonctionnements et des erreurs en conduite	38
2.3	De l'analyse à la modélisation de l'activité de conduite	41
2.3.1	Analyse de « <i>traces d'activité</i> »	41
2.3.2	Modélisation de l'activité à l'aide de diagrammes états-transitions	42
2.4	Conclusion synthétique	43
3	Conducteurs âgés	45
3.1	Auto-mobilité des âgés : un enjeu sociétal	46
3.1.1	Conjoncture démographique actuelle et future	46
3.1.1.1	« Définitions » du vieillissement et de la vieillesse	46
3.1.1.2	Démographie de la population des séniors	46
3.1.2	Pratique de la conduite chez les séniors	47
3.1.3	Arrêt de la conduite chez la personne âgée	48
3.2	Vieillesse et conduite	49
3.2.1	Vieillesse des capacités physiques et conduite	49
3.2.1.1	Limitations physiques	50
3.2.1.2	Fragilité physique	50
3.2.1.3	Effets du vieillissement physique sur la conduite	50
3.2.2	Vieillesse des capacités sensorielles et conduite	51
3.2.2.1	Vieillesse de la fonction visuelle	51
3.2.2.2	Vieillesse des fonctions auditive, tactile et proprioceptive	52
3.2.2.3	Effets du vieillissement sensoriel sur la conduite	52
3.2.3	Vieillesse des capacités cognitives et conduite	52
3.2.3.1	Généralités sur le vieillissement cognitif	53
3.2.3.2	Vieillesse, attention et fonctions exécutives	53
3.2.3.3	Vieillesse et mémoire	54
3.2.3.4	Effets du vieillissement cognitif sur la conduite	55
3.3	Conducteurs séniors et sécurité routière	57
3.3.1	Le facteur âge dans les accidents de la route	57
3.3.2	Données d'accidentologie routière des séniors	58
3.3.3	Contextes à risque pour les conducteurs séniors	60
3.3.4	Dysfonctionnements et erreurs de conduite chez les séniors	61
3.3.4.1	Résultats en provenance des Études Détaillées d'Accidents	61
3.3.4.2	Facteurs explicatifs des accidents en intersections	62
3.3.4.3	Vision d'ensemble des erreurs de conduite des conducteurs âgés	63

3.4	Stratégies d'adaptation des conducteurs âgés	65
3.4.1	Auto-régulation et Stratégies de compensation en conduite	65
3.4.2	Les situations redoutées par les conducteurs séniors	66
3.4.3	Auto-estimation de ses capacités de conduite	66
3.4.4	Les effets positifs de l'avancée en âge	67
3.5	Conclusion synthétique	67
4	Aides à la conduite	69
4.1	Évolutions historico-techniques dans l'automobile	70
4.1.1	Les évolutions de l'automobile	70
4.1.2	Niveaux de sécurité	70
4.1.3	Le véhicule intelligent	71
4.2	Les systèmes d'aide embarqués	72
4.2.1	Éléments de définition	73
4.2.2	Les fonctions d'assistance	74
4.2.3	Temporalité et aides à la conduite	75
4.2.4	Niveaux d'activité et aides à la conduite	76
4.2.5	Assistance coopérative et assistance substitutive	76
4.3	De l'interaction H-M à l'automatisation de la conduite	77
4.3.1	Les dispositifs informatifs	77
4.3.2	Les dispositifs d'alerte	78
4.3.3	Automatisation progressive de la conduite automobile	78
4.3.3.1	Les niveaux d'automatisation de Sheridan et Verplank	78
4.3.3.2	Une classification des systèmes d'automatisation de la conduite	80
4.3.3.3	Enjeux de Coopération H-M dans l'automatisation partielle de la conduite	81
4.3.4	L'automatisation totale	81
4.4	Le monitoring pour des aides à la conduite adaptatives	82
4.4.1	<i>Monitoring et Adaptativité</i>	82
4.4.2	Le monitoring appliqué à la conduite automobile	83
4.4.3	Exemple d'application du monitoring à l'état du conducteur	84
4.4.4	Du monitoring au co-pilotage	84
4.5	Aides à la conduite et conducteurs âgés	86
4.6	Conclusion synthétique	88
5	Conception centrée sur l'humain de fonctions de monitoring : de la problématique à la démarche méthodologique en cognitive	89
5.1	L'approche du « <i>Human-Centered-Design</i> »	90
5.1.1	La pyramide AUTOS de G. Boy	90
5.1.2	Instanciation de l'approche <i>AUTOS</i> à nos propres objectifs	92
5.2	Problématique et méthodologie <i>Cognitives</i> du monitoring	95
5.2.1	Objectifs Cognitives	95
5.2.2	Monitoring des conducteurs automobile	96
5.2.3	Méthodologie Cognitive pour des fonctions de monitoring	98
5.3	Démarche ergonomique pour l'observation de l'activité	99

5.3.1	Parcours expérimental	99
5.3.2	Le véhicule instrumenté	99
5.3.2.1	Architecture générale du véhicule	99
5.3.2.2	Enregistrement du comportement du conducteur	100
5.3.2.3	Enregistrement des données du véhicule	101
5.3.2.4	Enregistrement du contexte de conduite	101
5.3.3	Méthode d'Auto-confrontation post-conduite	103
5.3.3.1	Principe et objectifs méthodologiques	103
5.3.3.2	Matériel et méthode	103
5.3.4	Questionnaire et Focus Group	105
5.4	Démarche d'Ingénierie Cognitive pour la conception de fonctions de monitoring	106
5.4.1	Synoptique de la méthodologie de conception	106
5.4.2	Mise en forme et Prétraitements des données pour la conception de fonctions de monitoring	107
5.4.3	Méthodes pour l'analyse et la modélisation de l'activité	107
5.4.3.1	Approche descendante	107
5.4.3.2	Approche ascendante	107
5.4.4	Méthodes pour la visualisation de l'activité de conduite	107
5.4.5	Production de « chroniques d'activité » située	109
5.4.5.1	Principe	109
5.4.5.2	Exploitation des données d'auto-confrontation	109
5.4.5.3	Intérêt des chroniques d'activité	109
6	Observation et analyse de l'activité des conducteurs âgés sur route : Méthodologie et Résultats	111
6.1	Méthodologie	112
6.1.1	Tâche et consigne expérimentale	112
6.1.2	Parcours expérimental	113
6.1.3	Participants	114
6.1.4	Entretien d'auto-confrontation post-conduite	115
6.1.5	Questionnaire général sur les difficultés de conduite	116
6.1.6	Déroulement de l'expérimentation	117
6.2	Bilan du matériau recueilli	117
6.2.1	Données véhicules	117
6.2.2	Données d'auto-confrontation	118
6.2.3	Données monitrice	118
6.2.4	Données questionnaire	118
6.2.5	Capitalisation des connaissances sur les données enregistrées	119
6.3	Les situations de Tourne-à-Gauche	121
6.3.1	Tâche de conduite	121
6.3.1.1	Intersection en général	121
6.3.1.2	Tourne-à-Gauche (TàG)	121
6.3.2	Question de recherche et méthode	123
6.3.3	Matériau disponible	123
6.3.3.1	Tourne-à-Gauche du parcours	123

6.3.3.2	Vue d'ensemble des observations en Tourne-à-Gauche	124
6.3.4	Analyse des difficultés et des erreurs	125
6.3.4.1	Évaluation de la monitrice	125
6.3.4.2	Classification des situations-problèmes	126
6.3.5	Analyses de cas	127
6.3.6	Conclusion synthétique et perspectives	134
6.4	Les franchissements de Rond-Point	135
6.4.1	Tâche de conduite dans un Rond-Point	135
6.4.2	Question de recherche et méthode	136
6.4.3	Matériau disponible	136
6.4.3.1	Ronds-Points du parcours	136
6.4.3.2	Vue d'ensemble des observations en Ronds-Points	136
6.4.4	Analyse des difficultés et des erreurs	137
6.4.4.1	Évaluation de la monitrice	137
6.4.4.2	Classification des situations-problèmes	138
6.4.4.3	Analyse détaillée d'un Rond-Point du parcours	139
6.4.5	Analyses de cas	143
6.4.6	Conclusion synthétique et perspectives	146
6.5	Les autres intersections	147
6.5.1	Tâche de conduite en intersection Non prioritaire	147
6.5.2	Question de recherche	147
6.5.3	Matériau disponible	147
6.5.3.1	Autres intersections du parcours	147
6.5.3.2	Vue d'ensemble des observations en autres intersections	147
6.5.4	Analyse des difficultés et des erreurs	148
6.5.4.1	Évaluation de la monitrice	148
6.5.4.2	Classification des situations-problèmes	149
6.5.5	Analyses de cas	150
6.5.6	Conclusion synthétique et perspectives	154
6.6	Contrôle et régulation de sa vitesse	155
6.6.1	Tâche de contrôle et de régulation de sa vitesse	155
6.6.2	Question de recherche	155
6.6.3	Méthode d'investigation	155
6.6.4	Résultats	157
6.6.4.1	Avis de la monitrice	157
6.6.4.2	Analyse de la sur-vitesse par limitation de vitesse	157
6.6.4.3	Analyse de la sous-vitesse par limitation de vitesse	158
6.6.4.4	Analyse de la sous-vitesse sur voies rapides	159
6.6.4.5	Analyse de la régulation de la vitesse dans une bretelle de jonction	160
6.6.5	Analyses de cas	161
6.6.6	Conclusion synthétique et perspectives	162
6.7	Gestion de l'espace inter-véhiculaire	164
6.7.1	Tâche de gestion de l'espace inter-véhiculaire	164
6.7.2	Question de recherche	164
6.7.3	Méthode d'investigation	164

6.7.4	Résultats	165
6.7.4.1	Avis de la monitrice	165
6.7.4.2	Analyse du temps inter-véhiculaire sur voies rapides	165
6.7.5	Conclusion synthétique et perspectives	169
6.8	Gestion du positionnement dans sa voie	170
6.8.1	Tâche de gestion du positionnement dans sa voie	170
6.8.2	Question de recherche	170
6.8.3	Méthode d'investigation	170
6.8.4	Résultats	171
6.8.4.1	Avis de la monitrice	171
6.8.4.2	Défaut de maîtrise de la position dans la voie sur voies rapides	172
6.8.5	Analyses de cas	173
6.8.6	Conclusion synthétique et perspectives	174
6.9	Les manœuvres de Changement de voie	175
6.9.1	Tâche de conduite en Changement de voie	175
6.9.2	Question de recherche	175
6.9.3	Matériau disponible	175
6.9.3.1	Changements de voie du parcours	175
6.9.3.2	Vue d'ensemble des observations en Changements de voie	176
6.9.4	Analyse des difficultés et des erreurs	177
6.9.4.1	Évaluation de la monitrice	177
6.9.4.2	Classification des situations-problèmes	177
6.9.4.3	Analyse détaillée de deux Changements de voie du parcours	179
6.9.5	Analyses de cas	181
6.9.6	Conclusion synthétique et perspectives	184
6.10	Les insertions sur voies rapides	187
6.10.1	Tâche d'insertion sur voies rapides	187
6.10.2	Question de recherche	187
6.10.3	Matériau disponible	188
6.10.3.1	Insertions du parcours	188
6.10.3.2	Vue d'ensemble des observations en Insertions	188
6.10.4	Analyse des difficultés et des erreurs	189
6.10.4.1	Évaluation de la monitrice	189
6.10.4.2	Classification des situations-problèmes	189
6.10.4.3	Analyse détaillée d'une Insertion du parcours	190
6.10.5	Analyses de cas	191
6.10.6	Conclusion synthétique et perspectives	191
6.11	Discussion des résultats et spécifications pour le monitoring	193
6.11.1	Discussion concernant les erreurs	193
6.11.2	Discussion concernant les interventions de la monitrice	195
6.11.3	Discussion concernant les réactions d'autres usagers envers nos conducteurs	197
6.11.4	Discussion croisée concernant les situations-problèmes observées et analysées	198

7	Identification des difficultés, besoins et attentes via des Focus Group	201
7.1	Méthodologie	201
7.1.1	Procédure de collecte de données	202
7.1.2	Organisation des sessions et thématiques abordées	202
7.1.3	Échelles de mesure	203
7.1.3.1	Difficultés rencontrées au volant	203
7.1.3.2	Besoins et Attentes en matière d'aide à la conduite	204
7.1.4	Répartition des ressources durant la conduite	204
7.1.5	Participants	205
7.2	Navigation : Difficultés et Besoins d'aide	206
7.2.1	Difficultés rencontrées pour la navigation	206
7.2.1.1	Résultats globaux	207
7.2.1.2	Comparaison Hommes-Femmes	207
7.2.2	Aides à la navigation : Usages, Utilité perçue et Attentes	207
7.2.2.1	Résultats globaux	208
7.2.2.2	Comparaison Hommes-Femmes	209
7.3	Gestion de la vitesse : Difficultés et Besoins d'aide	210
7.3.1	Difficultés rencontrées pour la gestion de la vitesse	210
7.3.1.1	Résultats globaux	210
7.3.1.2	Comparaison Hommes-Femmes	211
7.3.2	Aides à la gestion de la vitesse : Usages, Utilité perçue et Attentes	211
7.3.2.1	Résultats globaux	213
7.3.2.2	Comparaison Hommes-Femmes	213
7.4	Franchissement d'intersections : Difficultés et Besoins d'aide	214
7.4.1	Difficultés rencontrées pour le franchissement d'intersections	214
7.4.1.1	Résultats globaux	214
7.4.1.2	Comparaison Hommes-Femmes	215
7.4.2	Aide en situation d'intersection : Usages, Utilité perçue et Attentes	215
7.4.2.1	Résultats globaux	217
7.4.2.2	Comparaison Hommes-Femmes	217
7.5	Insertions sur voies rapides : Difficultés et Besoins d'aide	218
7.5.1	Difficultés rencontrées pour les insertions sur voies rapides	218
7.5.1.1	Résultats globaux	218
7.5.1.2	Comparaison Hommes-Femmes	218
7.5.2	Aides à l'insertion sur voies rapides : utilité perçue	219
7.5.2.1	Résultats globaux	219
7.5.2.2	Comparaison Hommes-Femmes	219
7.6	Changements de voie : Difficultés et Besoins d'aide	220
7.6.1	Difficultés rencontrées pour les changements de voie	220
7.6.1.1	Résultats globaux	220
7.6.1.2	Comparaison Hommes-Femmes	220
7.6.2	Aides aux changements de voie : utilité perçue	221
7.6.2.1	Résultats globaux	221
7.6.2.2	Comparaison Hommes-Femmes	221
7.7	Automatisation de la conduite : utilité perçue et acceptabilité	222

7.7.1	Items proposés	222
7.7.2	Résultats globaux	222
7.7.3	Comparaison Hommes-Femmes	223
7.8	Interaction avec les autres usagers	224
7.8.1	Résultats globaux	224
7.8.2	Comparaison Hommes-Femmes	225
7.9	Incivilité des autres usagers : types et contextes	226
7.9.1	Types d'incivilités	226
7.9.1.1	Résultats globaux	226
7.9.1.2	Comparaison Hommes-Femmes	227
7.9.2	Contextes de survenue des incivilités d'autrui	227
7.9.2.1	Résultats globaux	228
7.9.2.2	Comparaison Hommes-Femmes	228
7.10	La répartition des ressources chez les conducteurs âgés	229
7.10.1	Sur un itinéraire familial	229
7.10.1.1	Résultats globaux	229
7.10.1.2	Comparaison Hommes-Femmes	230
7.10.2	Sur un itinéraire non familial	230
7.10.2.1	Comparaison globale itinéraire familial versus non familial	230
7.10.2.2	Comparaison Hommes-Femmes	230
7.11	Discussion des résultats et spécifications pour le monitoring	231
7.11.1	Discussion concernant les difficultés rencontrées en conduite	232
7.11.2	Discussion concernant les besoins et les attentes en aides	234

8 Exploitations des résultats pour la conception et le développement de fonctions de Monitoring 239

8.1	Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule	240
8.1.1	Monitoring de la position du véhicule dans la voie	240
8.1.1.1	Spécifications Ergonomiques	241
8.1.1.2	Conception en Ingénierie Cognitive	241
8.1.1.3	Développement en Cognitive	242
8.1.1.4	Évaluation et perspectives	245
8.1.2	Monitoring de la vitesse	247
8.1.2.1	Spécifications Ergonomiques	247
8.1.2.2	Conception en Ingénierie Cognitive	248
8.1.2.3	Développement en Cognitive	249
8.1.2.4	Évaluation et perspectives	249
8.1.3	Monitoring du temps inter-véhiculaire	252
8.1.3.1	Spécifications Ergonomiques	252
8.1.3.2	Conception en Ingénierie Cognitive	252
8.1.3.3	Développement en Cognitive	252
8.1.3.4	Évaluation et perspectives	253
8.2	Fonctions de monitoring pour l'aide au franchissement d'intersections en Tourne-à-Gauche	256
8.2.1	Spécifications Ergonomiques	256

8.2.2	Positionnement et trajectoire dans l'infrastructure	256
8.2.2.1	Conception en Ingénierie Cognitive	256
8.2.2.2	Développement en Cognitique	258
8.2.2.3	Évaluation et perspectives	259
8.2.3	Sélection d'un créneau d'insertion	261
8.2.3.1	Conception en Ingénierie Cognitive	261
8.2.3.2	Développement en Cognitique	263
8.2.3.3	Évaluation et perspectives	263
8.3	Fonctions de monitoring pour l'aide à l'insertion sur voies rapides	266
8.3.1	Spécifications Ergonomiques	266
8.3.2	Conception en Ingénierie Cognitive	266
8.3.3	Développement en Cognitique	268
8.3.4	Évaluation et perspectives	270
8.4	Notre chaîne logicielle et matérielle pour le monitoring	271
8.5	Conclusion synthétique	272
	Conclusion générale et perspectives	275
	Valorisations des travaux durant la thèse	281
	Liste des figures	285
	Liste des tableaux	287
	Bibliographie	287
	Annexes	307
A	Détails concernant les bases de données cartographiques	307
B	Structuration et synchronisation des données de conduite	308
C	Fiche monitrice (extrait)	312
D	Feuille de route monitrice (extrait)	313
E	Cas de mauvaise compréhension de l'infrastructure et piéton en sortie du TàG	314
F	Comparaisons statistiques des résultats des Focus Group	315
G	Fiche de réponses Focus Group (extrait des items « Vitesse »)	319
H	Graphique bilan en termes de difficultés exprimées	320
I	Graphique bilan en termes d'utilité perçue	321
J	Travaux du LESCOT dans le projet PARTAGE (extrait du rapport final du projet)	322

Introduction générale

Contexte général et questions de recherche

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de la « Conception Centrée sur l'Humain » (*Human Centred Design* [Boy, 2011]) de futures fonctions d'assistances à la conduite, à des fins d'amélioration de la Sécurité Routière. Au cours des dernières décennies, de nombreux efforts ont été réalisés dans le domaine des sciences de l'Homme (mieux comprendre les comportements de conduite, les accidents de la route et les erreurs humaines), mais également dans celui des sciences de l'ingénieur avec des évolutions technologiques constantes, parmi lesquelles les systèmes d'aide à la conduite embarqués. Dès les années 90, de nombreux dispositifs d'assistance sont apparus dans les véhicules automobiles haut de gamme (comme les aides à la navigation ou les systèmes de régulation automatique de la vitesse). Puis ils se sont généralisés ensuite à l'ensemble du parc automobile, ouvrant ainsi, d'un côté, de nouvelles perspectives pour l'amélioration de la sécurité routière, mais susceptibles de présenter aussi, de l'autre côté, des risques de perturbation de l'activité du conducteur. En effet, lorsque ces systèmes n'intègrent pas bien certains principes ergonomiques, ils peuvent par exemple devenir sources de conflits ou de distraction, et par de là-même dégrader la performance de conduite ou altérer la « conscience de la situation » des conducteurs.

En termes de conception de futures fonctions d'assistance, cette thèse s'intéresse plus spécifiquement aux difficultés et aux besoins d'une population particulière de conducteurs : les conducteurs âgés. En effet, cette recherche est conduite en synergie avec les travaux réalisés dans le cadre d'un projet Franco-Suédois¹ visant à maintenir au volant les conducteurs âgés en capacité de conduire via, si nécessaire, le développement de dispositifs d'assistances adaptés, garantissant la sécurité routière tout en favorisant leur mobilité. Dans ce contexte, il s'agit pour nous d'observer et d'analyser l'activité de conduite en conditions naturelles afin d'évaluer les effets du vieillissement sur cette tâche complexe. Les difficultés rencontrées, les risques d'erreurs spécifiques, mais aussi les stratégies compensatoires mises en place par ces conducteurs sont autant d'éléments qui peuvent permettre de spécifier de telles fonctions d'assistance et de définir aussi des modalités d'interaction adaptées aux besoins et aux caractéristiques des conducteurs âgés. Pour atteindre ces objectifs, notre recherche s'appuie sur l'analyse de l'activité et des performances de conduite collectées auprès de conducteurs âgés (de 70 à plus de 87 ans), en situation écologique, lors de la réalisation d'un parcours expérimental effectué sur route ouverte.

La problématique de cette thèse s'articule plus précisément autour des questions de Monitoring (supervision) de l'activité humaine, dans un contexte de « *Co-pilotage Intelligent* ». L'objectif central est de tirer le meilleur profit possible de l'offre technologique, tout en cherchant à se prémunir des risques ou des effets pervers potentiels. Il s'agit en effet d'apporter de l'aide au conducteur lorsque celui-ci éprouve de réelles difficultés, ou lorsque sa sécurité est menacée. A contrario, une aide ne doit pas perturber l'activité du conducteur lorsque la situation de conduite exige toute son attention, ou qu'elle est maîtrisée. En nous positionnant dans une logique de monitoring de l'activité, nous proposons de développer des modèles d'analyse contextuelle de l'activité humaine et des « fonctions de diagnostic » à intégrer dans les futures

¹ *Projet ANR-11-VPTT-0001 SAFEMOVE - SAFE MOVE for older drivers*

fonctions d'assistance. Ces « briques technologiques » seront utiles pour déterminer quand et comment assister le conducteur humain, afin de répondre au mieux à ses besoins effectifs ainsi qu' à ses attentes.

Dans ce contexte général, notre démarche scientifique s'inscrit dans une approche trans-disciplinaire reposant sur 4 champs disciplinaires : Ergonomie, Sciences Cognitives, Cognitive, et Ingénierie. Du point de vue l'*Ergonomie*, notre travail repose sur une méthodologie (1) d'observation de l'activité réelle de conducteurs en situation naturelle de conduite au volant d'un véhicule instrumenté dans le trafic à des fins (2) d'analyse fine de cette activité pour identifier des difficultés et/ou des erreurs, permettant alors de spécifier des besoins en assistance. Concernant les *Sciences Cognitives*, elles offrent un éclairage nécessaire sur les composants, l'architecture cognitive, l'organisation et le fonctionnement de la cognition humaine. La *Cognitive* nous apporte un cadre de référence pour l'analyse et la modélisation que nous allons mener par le biais du modèle COSMODRIVE² développé à l'IFSTTAR. Ce modèle propose une synthèse de différents travaux issus des sciences cognitives avec une visée de simulation computationnelle des processus cognitifs. En s'appuyant sur ce dernier et sur le champ de l'Ingénierie, l'enjeu est de modéliser cette activité pour concevoir des fonctions d'analyse temps réel de la performance de conduite, puis de développer des « fonctions de monitoring » (supervision de la conduite) permettant d'adapter dynamiquement les Interactions Homme-Machine en fonction du contexte.

La conjugaison de ces différentes disciplines devra nous permettre (1) d'identifier les besoins de notre population-cible, (2) de comprendre les mécanismes cognitifs pouvant être mis en défaut, mais également (3) de proposer des solutions aux différents problèmes rencontrés en s'orientant vers une « *ergonomie temps-réel* ». Nous décrivons cette approche comme une méta-discipline : l'Ingénierie Cognitive.

Organisation du manuscrit

Pour débiter, nous présentons notre objet d'étude au sein du **Chapitre 1** : l'activité de conduite d'un véhicule automobile. L'objectif est de décrire les tenants et aboutissants de cette activité complexe en partant de considérations générales avant d'apporter des éclairages provenant de conceptualisations issues de la littérature sur les différentes dimensions de cette activité. Parmi les travaux de référence, nous introduisons notamment les concepts fondateurs du modèle COSMODRIVE et décrivons comment ces concepts seront utilisés dans notre démarche.

Partant de cette « définition » de l'activité de conduite automobile, nous nous intéressons aux moyens à mettre en œuvre pour nos objectifs d'analyse et de modélisation. Cet ensemble consacré à l'analyse de l'activité de conduite automobile est au cœur du **Chapitre 2**. Nous y présentons les notions, concepts et méthodes issus de l'Ergonomie qui sont mis au service de nos enjeux, notamment par le biais de l'approche centrale de cette discipline qu'est l'analyse de l'activité.

Dans le **Chapitre 3**, nous nous focalisons sur la population des conducteurs âgés qui est au cœur de notre problématique. A partir des éléments constitutifs de l'activité de conduite automobile, nous présentons les principales dégradations de performance qui peuvent accompagner le vieillissement du conducteur. En nous basant sur une revue de la littérature, nous recensons des

²Cognitive Simulation MOdel of the DRIVER

difficultés et/ou des erreurs spécifiques commises par cette catégorie de conducteurs, mais aussi les attentes éventuelles qui seraient exprimées par ces derniers. Il s'agit, au terme de ce chapitre, d'avoir identifié un ensemble de risques ou de difficultés potentiels que nous chercherons à vérifier par notre investigation dont la méthodologie s'appuiera en partie sur ces éléments.

Nous évoquons ensuite la question des aides à la conduite dans le **Chapitre 4**. Nous proposons tout d'abord un tour d'horizon de l'offre technologique des dispositifs existants et faisant actuellement l'objet de recherches et d'innovations. Nous distinguons ensuite les familles de dispositifs d'aide à la conduite sous l'angle de l'interaction homme-machine, question centrale dans la conception de tels dispositifs. Nous positionnons ensuite la logique de monitoring en la situant comme une voie possible vers des aides adaptées aux besoins spécifiques des conducteurs âgés. Nous rapprochons enfin « les faiblesses » identifiées chez certains conducteurs âgés avec les fonctions d'assistance qui pourraient constituer une réponse possible.

Le **Chapitre 5** est consacré à la formulation de notre problématique d'assistance au conducteur âgé en termes de Cognitique. Après avoir présenté l'approche de « *Conception Centrée sur l'Humain* » qui constitue le socle théorique de notre approche de Monitoring du conducteur âgé, nous définissons la démarche méthodologique mise en place dans le cadre de cette thèse. Nous détaillons ainsi une démarche ergonomique d'une part associée à une démarche d'Ingénierie Cognitive d'autre part.

Deux chapitres sont ensuite consacrés aux données expérimentales collectées ainsi qu'aux exploitations réalisées et à venir. Le **Chapitre 6** concerne les données collectées et résultats obtenus grâce à notre démarche d'observations et d'analyse de l'activité des conducteurs âgés. Le **Chapitre 7** présente et discute quant à lui les données collectées et les résultats concernant l'identification des difficultés, des besoins ainsi que des attentes des conducteurs âgés en matière d'assistance par le biais de Focus Group.

Les fonctions de monitoring conçues et développées sur la base de ces résultats expérimentaux sont enfin présentées dans le **Chapitre 8**. Nous décrivons plus spécifiquement des fonctions de monitoring en lien avec les contrôles de base du véhicule (gestion de la vitesse, positionnement dans la voie et la gestion de l'espace inter-véhiculaire avant). Sur cette base, nous proposons également des fonctions de monitoring plus intégrées pour l'aide au tourne-à-gauche ainsi que pour l'assistance à l'insertion sur voies rapides (et plus largement l'aide au changement de voie).

Une conclusion générale synthétise enfin les avancées et les résultats atteints au regard des objectifs du travail de thèse. Nous esquissons les futures exploitations des données recueillies durant la thèse qui sont envisagées pour la dernière année du projet SAFEMOVE qui se terminera fin 2015 et dans lequel nous serons impliqué.

Activité de conduite automobile

Comme nous l'avons indiqué en introduction, nos travaux s'articulent autour de la question de l'assistance d'un conducteur dans son activité de conduite d'un véhicule. Pour débiter, il est donc primordial de décrire notre objet d'étude : l'activité de conduite automobile.

L'objectif de ce chapitre est donc de décrire les tenants et les aboutissants de l'activité dans laquelle est engagé un conducteur lorsqu'il conduit un véhicule (automobile). Ceci autant du point de vue de ce qu'il doit réaliser, mais aussi de ce dont il dispose pour le faire.

Ce chapitre est organisé en 4 sections qui progressent d'un niveau très général à un niveau très local :

- À un niveau macroscopique, nous détaillerons les grandes caractéristiques de la conduite pour la définir de façon très globale.
- À un niveau mésoscopique, nous détaillerons ce qui compose cette activité, du point de vue de ses exigences et de ses contraintes. Il s'agira de décrire ce que doit réaliser un conducteur lorsqu'il se trouve au volant de son véhicule.
- À un niveau plus microscopique, nous nous placerons du point de vue du conducteur pour décrire les différents processus cognitifs mis en œuvre en conduite automobile.
- Parmi ces différents processus, nous insisterons particulièrement sur le concept de représentation mentale qui constitue la clé de voûte de la cognition du conducteur.

1.1 Caractéristiques générales de l'activité de conduite

Pour débiter, nous proposons de décrire quelques caractéristiques de la conduite automobile en présentant les aspects les plus représentatifs de cette pratique. Nous présentons la conduite automobile comme une activité « *instrumentée* » [Rabardel, 1995] complexe, se déroulant dans un système dynamique, intégrant une forte composante d'interactions, et présentant des risques.

1.1.1 Une activité quotidienne règlementée et très répandue

Conduire un véhicule est l'une des tâches les plus complètes et complexes des activités instrumentées de la vie quotidienne [Sherman, 2006]. L'autorisation de conduire un véhicule est conditionnée par la détention d'un permis de conduire spécifique pour le type de véhicule considéré. Ce permis est délivré moyennant la réussite d'un examen particulier. Il est décomposé en une partie théorique et une partie pratique. La phase d'apprentissage inclut ces deux catégories d'enseignement. Selon [Neboit, 1980], conduire un véhicule c'est réaliser un déplacement dans un environnement en perpétuelle évolution. Ce déplacement est orienté vers un but (ex. se rendre à un endroit donné), réalisé à l'aide d'un outil (le véhicule) et il est régi par un ensemble de règles qui sont soit explicites et générales (code de la route), soit implicites et plus locales (ex. règles d'usages pour une infrastructure donnée). Le code de la route régit le système routier en définissant une norme pour un ensemble de dimensions impliquées dans la conduite, telles que le respect d'une vitesse maximale en fonction de l'infrastructure, ou encore le respect de règles de priorité. Tout écart à cette norme peut entraîner des sanctions.

L'Enquête Nationale Transports et Déplacements (ENTD), menée tous les dix à quinze ans, offre un panorama des habitudes de déplacements des ménages et leurs usages des moyens de transports collectifs et individuels en France métropolitaine. Les résultats de l'ENTD 2008 nous apprennent que 78% de la population est âgée de plus de 18 ans et donc en âge de détenir ou de passer son permis de conduire, ce qui représente plus de 47 Millions de conducteurs potentiels. Ce sont près de 39 Millions de personnes qui sont détentrices du permis de conduire et donc en droit de conduire, soit plus de 82% de la population éligible et plus de 60% de la population totale. La part des détenteurs de permis qui conduisent effectivement dépasse les 93% : une minorité de 7% de détenteurs de permis ne conduisent jamais. La voiture tient une place très importante dans les déplacements des français puisque près des 2/3 des déplacements réalisés en semaine le sont au moyen de ce type de véhicule, et près de 80% des ménages sont équipés d'au moins une voiture. Toujours en France, le nombre de véhicules homologués sur route atteignait ainsi près de 38 millions en 2010 et ce nombre est en constante évolution. Le nombre de conducteurs augmente également. A titre d'illustration, la France comptabilise 968356 certificats d'examens du permis de conduire délivrés en 2012, toutes catégories confondues, sans distinction de nouveau permis et renouvellement à la suite d'un retrait¹. Parmi ces conducteurs, plus de 80% le sont dans la catégorie des voitures légères. Ces chiffres nous permettent d'affirmer que la conduite automobile est une activité quotidienne largement répandue. Comme le souligne Bellet, cette banalisation de la conduite automobile contribue largement à l'impression d'une relative facilité [Bellet et al., 2003].

¹www.securite-routiere.gouv.fr/bilan-permis-de-conduire-2012

1.1.2 Une dynamique exigeante dans un système routier hétérogène

On peut assimiler le système routier à un système dynamique impliquant des usagers, des véhicules, dans un environnement, où chaque acteur est en interaction avec les autres. Une situation dynamique comporte des processus qui évoluent même sans intervention de l'opérateur [Cellier, 1996], par leurs propres dynamiques. Cette évolution temporelle peut correspondre à un changement d'état, au maintien d'un état ou à l'apparition de nouvelles données [Decortis and Cacciabue, 1991]. La complexité est souvent citée comme la caractéristique première d'une situation dynamique. [Woods, 1988] explique que « *quand un monde est dynamique, les incidents se dévoilent au cours du temps et sont entraînés par évènements, c'est-à-dire, les évènements peuvent se produire à des moments indéterminés* ». Pour l'auteur, cela oblige l'opérateur en situation dynamique à faire preuve de flexibilité pour détecter les évènements et s'y adapter, en révisant l'évaluation de la situation et les plans mis en œuvre. Il en est de même pour un conducteur, puisque comme le souligne [Malaterre, 1987], la contrainte temporelle et l'aspect dynamique sont des éléments prépondérants de la conduite automobile.

De plus, le système routier revêt une diversité très importante [Van Elslande, 1992]. Cela s'exprime tant dans la diversité des conducteurs (ex. expérience, motivations, connaissance des lieux), dans la diversité des véhicules (ex. type, puissance), que dans celle de l'environnement (ex. infrastructures, densité de trafic). Cette hétérogénéité au sein de ce système dynamique contraint le conducteur à s'adapter de façon continue à des situations en évolution permanente. Cette régulation réalisée sous les contraintes dynamique et temporelle liées au déplacement du véhicule et à l'évolution de l'environnement (ex. déplacement des autres véhicules) souligne à nouveau le caractère complexe de la conduite.

1.1.3 Une forte composante d'interactions

Conduire, c'est à tout moment ou presque, être à la fois seul dans son véhicule, et être avec les autres usagers avec qui l'on partage l'espace routier. Interagir avec autrui, c'est notamment être à même d'identifier sa présence mais aussi d'interpréter voire d'anticiper ses réactions. Or la gestion de cette interaction permanente avec d'autres usagers n'est pas simple. Par exemple, les possibilités de communication entre les usagers, évoluant au moyen de différents modes de déplacement dans un voisinage proche, sont quasi inexistantes et les indices révélateurs des intentions des différents usagers en interaction sont très difficilement accessibles. Ceci renforce le caractère incertain et complexe de l'activité de conduite : plusieurs usagers en interaction dans une situation donnée peuvent partager des représentations très différentes de cette situation, par exemple en termes de risques de conflit de trajectoires, ce qui peut déboucher sur des situations critiques [Munduteguy and Darses, 2007].

La régulation qui s'opère dans les interactions entre les usagers est une autre démonstration de la flexibilité et de l'adaptabilité dont doit faire preuve tout conducteur. En effet, il est probable qu'un grand nombre d'accidents soient évités grâce à la régulation de sous-ensembles d'usagers face à un comportement inadapté d'un autre sous-ensemble d'autres usagers. On pourrait parler de « collaboration » entre les usagers en situation de conduite, qu'elle soit choisie (ex. courtoisie pour laisser passer un véhicule) ou plus contrainte (ex. freinage pour éviter la collision avec un véhicule qui se rabat devant soi sans qu'il ait conscience de générer une perturbation). C'est le concept de *résilience* du système routier [Vanderhaegen et al., 2006], concernant cette capacité à auto-réguler une grande quantité d'aléas par le biais de certains des acteurs, qui apparaît ici.

Enfin, la notion de stéréotype est également à citer lorsque l'on s'intéresse aux interactions entre usagers de la route. Par exemple, tout usager de la route (conducteur ou non) en qualité d'individu, peut avoir une représentation des comportements typiques associés à une catégorie d'usagers de la route (ex. homme vs. femme [Granié and Papafava, 2011], conducteurs âgés [Chapman et al., 2014] ou [Motak, 2011], autres conducteurs de voiture, etc.), en fonction du type de son véhicule (ex. vélos, motos, camions, etc.) ou encore du sous-type de ce dernier (ex. voiture puissante, voiture sans permis, etc.). Ces stéréotypes peuvent impacter les interactions entre les classes d'usagers.

1.1.4 Une activité à risques

Les éléments que nous avons mis en avant jusqu'ici nous montrent que conduire suppose de gérer un ensemble de paramètres importants et ce dans un laps de temps parfois très court. Conduire, c'est avant tout réaliser des estimations et des prévisions de l'état futur du monde et de la survenue éventuelle d'événements. De ce fait, la conduite d'un véhicule repose majoritairement sur des prises de décisions et des actions basées sur des incertitudes plus que sur des certitudes, ce qui comporte une probabilité d'échec non négligeable. Pour preuve du caractère risqué de cette activité, la France affiche toujours, au titre de l'année 2013, un bilan de 3268 tués et 70607 blessés [ONISR, 2014], ce qui permet d'affirmer que la conduite automobile est une activité à risques. Parmi les accidents mortels, 50% des victimes sont des occupants de voitures [ONISR, 2014]. Les accidents de la route peuvent survenir lors d'une interaction inadaptée entre plusieurs véhicules qui conduit au conflit de trajectoire et/ou lors d'une interaction inadaptée entre un véhicule seul et l'infrastructure. Dans tous les cas, l'humain est encore le *maillon faible* de la sécurité routière puisque sa défaillance est un facteur contributif de survenue d'accidents dans 90% des accidents de la route (on trouve 95% dans [Sabey and Staughton, 1975], mais l'estimation à 9 cas d'accidents sur 10 est aujourd'hui largement admise).

Ces premiers éléments attestent que conduire un véhicule est une activité complexe qui implique un grand nombre de capacités humaines. La section suivante donne une vue des composantes de l'activité de conduite automobile ainsi que les aptitudes qu'elle sollicite. Nous nous appuyons pour cela sur différents concepts issus de travaux dans le domaine de la sûreté industrielle ou portant spécifiquement sur l'analyse de la conduite automobile et sa modélisation.

1.2 Une activité multi-niveaux : du cognitif au sensori-moteur

Nous avons jusque là décrit la conduite automobile d'une façon très générale. Il nous faut à présent rentrer dans les détails de cette activité. Nous allons voir que la conduite automobile peut être décomposée en différents niveaux en fonction des processus cognitifs impliqués et des comportements qu'elle exige du conducteur.

La conduite automobile peut se définir comme une succession de phases alternant des sous-tâches à dominante sensori-motrice et des sous-tâches à dominante cognitive [Monseur and Marchadier, 1971]. Par exemple, conduire seul sur une autoroute à la circulation fluide relève principalement d'une tâche sensori-motrice (i.e. progresser sur la voie en pilotant le véhicule par le biais de ses organes de commandes). Dans un autre registre, une traversée d'intersection comporte une forte composante cognitive (ex. le processus de prise de décision à partir de raisonnements complexes) [Saad et al., 1992]. L'implication de ces différents niveaux évolue, notamment en fonction

du contexte de conduite, tant en termes de connaissances des lieux que de complexité de l'infrastructure. Cela traduit la variabilité de la nature des tâches à réaliser au volant et des exigences de cette activité.

Dans cette vision multi-niveaux de l'activité, les travaux de [Rasmussen, 1983] dans le domaine industriel du contrôle de processus dynamiques par des opérateurs de centrales nucléaires peuvent apporter un éclairage intéressant à notre problématique.

1.2.1 Les niveaux de contrôle de Rasmussen : Skill, Rule et Knowledge

Dans une centrale nucléaire, l'opérateur est en charge de contrôler des processus dynamiques, qui ont la particularité d'évoluer dynamiquement, même sans intervention humaine. L'opérateur doit donc s'adapter en permanence à des situations en perpétuelle évolution. Il doit ainsi superviser le déroulement du processus dynamique, détecter et diagnostiquer tout dysfonctionnement effectif ou potentiel et, au besoin, réaliser des actions régulatrices pour rétablir un fonctionnement normal. Au début des années 1980, Rasmussen proposa une hiérarchie des niveaux d'activité impliqués dans la tâche de contrôle de processus dynamiques (figure 1).

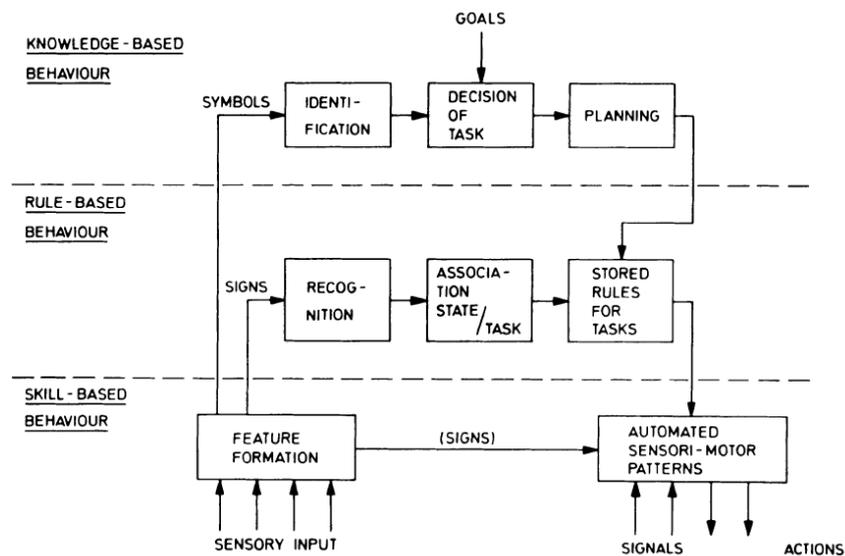


FIGURE 1 – Trois niveaux de contrôle de l'activité de l'opérateur humain de [Rasmussen, 1983]

Rasmussen présente trois niveaux de contrôle de l'activité : le *niveau basé sur les connaissances* (knowledge-based behavior ou KB), le *niveau basé sur les règles* (rule-based behavior ou RB) et le *niveau basé sur les habiletés* (skill-based behavior ou SB). Ce modèle propose une vision de l'humain comme un acteur agissant à partir de « buts » identifiés à partir des informations sensorielles. Le niveau SB regroupe les performances sensori-motrices, qui sont produites à partir d'une intention, se déroulant sans contrôle conscient, de façon automatique par l'activation de patrons d'actions très intégrés. Le niveau RB est sollicité dans le cadre de situations familières pour lesquelles l'opérateur dispose de règles stockées en mémoire ou de procédures directement utilisables dans la situation courante. Ces règles peuvent avoir été découvertes à l'occasion d'une confrontation avec une situation passée comparable, provenir d'un savoir faire qui a été transmis par la formation, ou construites lors d'une résolution de problème antérieure. Les règles sont

décrites par Rasmussen comme des règles de type *Si [État] Alors [Tâche]*. Dans une situation qui n'est pas familière à l'opérateur et pour laquelle aucune règle stockée n'est applicable, un plus haut niveau conceptuel est requis, c'est le niveau KB. A ce niveau, la performance est orientée par le but et basée sur les connaissances de l'opérateur. Ce dernier doit alors, à partir d'un but explicitement formulé à partir d'une analyse de l'environnement et de son « but » global, construire une solution sur-mesure au problème rencontré, en combinant des règles. A ce niveau, le raisonnement effectué par l'opérateur se base sur un modèle mental de la situation. Nous reviendrons par la suite sur cette notion.

La conduite automobile et la supervision de processus dynamiques sont deux activités qui peuvent être rapprochées, c'est pourquoi nous présentons ce modèle. Il s'affranchit du cadre de l'humain passif, qui ne réagit qu'aux stimuli qui se trouvent dans son environnement. Simplement, le S-R-K permet d'illustrer le fait qu'un individu qui perçoit un objet dans l'environnement réalise un ensemble de traitements de niveaux et de complexité variables, en fonction de la situation dans laquelle il se trouve, de son but, et de l'expérience dont il dispose. Ces trois niveaux ne sont pas alternatifs mais interagissent entre eux, bien que ces interactions soient représentées très sommairement sur la figure 1. De plus, l'auteur précise que le niveau SB est actif sans que l'opérateur ait accès de manière consciente à la manière dont il procède et aux informations sur lesquelles il base sa performance. À un haut niveau de contrôle basé sur les règles, le savoir-faire est plus explicite et l'opérateur sera à même de verbaliser les règles qu'il utilise. Ce modèle est intéressant car il illustre le principe d'enchâssement des niveaux de l'activité et évoque les niveaux de conscience qui seront détaillés plus loin.

1.2.2 Les niveaux Stratégique, Tactique et Opérationnel de Michon

Dans une approche descriptive de la conduite automobile et dans la lignée de Rasmussen, les travaux de Michon demeurent couramment repris aujourd'hui. Dans l'organisation du système militaire, on distingue 4 niveaux : le niveau politique, le niveau stratégique, le niveau tactique et le niveau opérationnel. En s'inspirant de cette décomposition, Michon propose un modèle de décomposition de la tâche de conduite en 3 *niveaux de contrôle* [Michon, 1985], différents du point de vue cognitif et de la temporalité. Le *niveau stratégique* regroupe ce qui concerne la planification d'un déplacement, et la tâche de navigation qui consiste à suivre et réaliser un itinéraire. Il inclut également les objectifs généraux ainsi que les contraintes globales du déplacement (respecter une durée de trajet par exemple) et s'inscrit dans une temporalité à long terme. Le *niveau tactique* concerne la sélection et la planification des actions à mettre en œuvre pour la réalisation d'une manœuvre dans le contexte courant. Il inclut des objectifs et des contraintes locales (comme effectuer un tourne-à-gauche en respectant les règles de priorité, par exemple) et s'inscrit dans l'ordre de grandeur de la dizaine de secondes. Le *niveau opérationnel* quant à lui concerne le contrôle du véhicule par l'intermédiaire de ses commandes, lors de la réalisation d'une manœuvre en exécutant le plan tactique produit par le niveau supérieur. Son ordre de grandeur est de quelques secondes.

Si le modèle de Rasmussen renvoie plus à des mécanismes de réponses ou de raisonnement mis en œuvre par l'humain, Michon s'intéresse aux sous-tâches impliquées dans la conduite. Son modèle supporte la description de la conduite en différentes composantes qui se traduisent par des exigences diverses, soutenues par des capacités humaines variées. Il insiste sur la définition de la conduite comme une activité cognitive et sensori-motrice multi-niveaux et à complexité variable.

1.2. Une activité multi-niveaux : du cognitif au sensori-moteur

La temporalité associée aux différents niveaux de l'activité est un autre élément intéressant de ce modèle.

Concernant ces deux approches « à trois niveaux hiérarchiques » de l'activité, il est important de noter qu'elles ne se superposent pas systématiquement. En effet, si la plupart du temps, le niveau *Skill* correspond à l'*Opérationnel*, le niveau *Rule* au *Tactique* et le niveau *Knowledge* au *Stratégique*, il existe des exceptions [Van der Molen and Bötticher, 1988].

A titre d'exemple, les auteurs évoquent le passage de vitesse qui ne relèvera pas toujours du niveau opérationnel. Pour un conducteur expérimenté, l'exécution de cette tâche relève bien d'une habileté. Pour un conducteur novice, cela mobilisera, au début de son apprentissage, des *connaissances*, puis des *règles*, avant enfin de constituer une habileté une fois ce savoir-faire maîtrisé et intégré. Le Tableau 1 présente quelques tâches de conduite identifiées par [Hale et al., 1990] classées en regard des deux lectures tri-niveaux de l'activité pouvant être considérées comme orthogonales.

TABLEAU 1 – Orthogonalité des niveaux identifiés par [Michon, 1979] et [Rasmussen, 1986], adapté de [Hale et al., 1990]

	Niveau Stratégique	Niveau Tactique	Niveau Opérationnel
Knowledge	navigation en site inconnu	négociation carrefour atypique & complexe	conducteur novice
Rule	choix entre routes familières	dépassement de véhicule	conduite d'un véhicule non familier
Skill	itinéraire quotidien	négociation d'intersection familière	contrôle de la trajectoire

Ces deux modèles nous offrent une base théorique intéressante en ce qui concerne l'activité de conduite et ses multiples dimensions en insistant sur les relations entre ces différents niveaux de contrôle de l'activité et l'expérience de l'opérateur, ainsi que sur les effets de l'apprentissage dans le développement d'habiletés.

1.2.3 Connaissances déclaratives et connaissances procédurales

Cette question de l'acquisition d'habiletés (skills) est au cœur de la théorie ACT (Adaptive Control of Thought) de [Anderson, 1983]. Ce modèle décrit les mécanismes impliqués dans l'apprentissage d'habiletés complexes (en expliquant comment, dans un domaine particulier, un novice devient progressivement expert), qu'elles soient motrices (comme utiliser les pédales ou manipuler le levier de vitesse d'un véhicule automobile, par exemple) ou cognitives (comme prendre la décision de changer de rapport en fonction du régime moteur).

L'un des apports majeurs de cette théorie est de distinguer deux types de connaissances : des connaissances « déclaratives » (savoir que) et des connaissances « procédurales » (savoir comment). Le modèle ACT s'articule autour de la notion centrale de « productions » qui assurent la connexion entre les connaissances déclaratives et le comportement (op. cit., p.24). Dans cette modélisation computo-symbolique de la cognition humaine, ces productions correspondent à une formalisation des connaissances procédurales sous la forme de règles conditionnelles Si => Alors.

Dans le cadre du modèle ACT, le processus d'apprentissage est défini comme un processus de « compilation » des connaissances. Cette métaphore informatique traduit le fait qu'une procédure initialement déclarative (programme source) est progressivement transformée en connaissances procédurales (programme exécutable). À la différence d'un ordinateur qui réalise cette opération de façon très rapide, le processus de compilation dans le système cognitif humain a cependant besoin de temps et surtout de pratique pour s'opérer. Ce processus peut se décomposer en deux sous-processus : un processus de procéduralisation et un processus de composition. La procéduralisation substitue progressivement le déploiement contrôlé pas-à-pas de règles de production, par une mise en œuvre automatique et plus directe. La composition correspond au regroupement de règles de production, d'ordinaire associées à une certaine activité, et à leur organisation en séquences agrégées pour créer de nouvelles règles plus intégratives et plus complexes.

La distinction de ces deux types de connaissances dans le système cognitif humain amène [Anderson, 1983] à distinguer deux structures mnésiques dans le modèle ACT, une mémoire « déclarative » et une mémoire « procédurale », relevant de niveaux de contrôle et de conscience différents. Ainsi, alors que les connaissances déclaratives sont « *des connaissances explicites que nous pouvons verbaliser et dont nous avons conscience* » (p. 308), les connaissances procédurales correspondent à la façon de réaliser une action, à un savoir-faire qui est le plus souvent implicite. Nous reviendrons un peu plus loin dans ce chapitre sur cette distinction entre conscience implicite versus explicite de la situation comme de l'activité.

Resitué dans notre contexte de conduite automobile, ce modèle permet de mieux appréhender le processus d'apprentissage des compétences de conduite sous la forme d'une opérationnalisation progressive de connaissances d'abord déclaratives (lorsqu'elles sont enseignées à l'auto-école), puis devenant peu à peu des savoir-faire procéduraux de plus en plus intégrés ou compilés, au fur et à mesure que le conducteur gagne en expérience pratique. En termes de niveaux de contrôle de l'activité, la composante opérationnelle de la conduite devient alors de plus en plus « automatique », les processus « contrôlés » étant alors consacrés pour l'essentiel aux niveaux tactique et stratégique.

1.2.4 Processus contrôlés et processus automatiques

Cette distinction entre processus contrôlés versus automatiques a été initialement proposée par [Posner and Snyder, 1975] puis [Schneider and Shiffrin, 1977]. Selon ces auteurs, il convient de différencier deux modes de traitement de l'information dans le système cognitif humain. Le premier mode est dit automatique et renvoie à des processus réalisés sans coût cognitif ou contrôle de la part de l'humain, hors de la portée de sa conscience. En mode automatique, les traitements sont réalisés de façon parallèle et rapide, à l'image des habiletés de Rasmussen. C'est en majeure partie sur ce mode de contrôle que reposera l'activité de conduite d'un conducteur confirmé, au moins dans le cadre de situations familières. Le second mode est dit contrôlé et opère avec un coût cognitif variable, mais non nul. Ce coût cognitif impose un traitement plus séquentiel de l'information, par conséquent plus lent et des processus d'analyse de la situation et de planification de l'action plus conscients et dirigés. Ce sera le mode de fonctionnement privilégié chez le conducteur débutant, avant que ne s'automatise progressivement ses compétences de conduite.

En se basant sur des travaux de neuropsychologie, [Norman and Shallice, 1986] ont repris cette distinction en proposant un modèle computationnel des fonctions exécutives. Dans le cadre

de situations familières, le fonctionnement cognitif repose sur l'activation automatique de schémas de pensées ou d'actions spécifiant directement les comportements à adopter. Dans le cadre de situations plus atypiques ou nouvelles, en revanche, les processus d'activation de schémas et de supervision de l'activité sont réalisés sous le contrôle d'un « système attentionnel superviseur », fortement consommateur de ressources cognitives. C'est sous le contrôle de ce superviseur attentionnel qu'est gérée la planification consciente et délibérée de nos actions qui ne peuvent pas être réalisées au seul moyen de schémas préalablement connus, ou acquis.

1.2.5 La conduite automobile comme une activité de régulation dynamique

Lorsque que nous conduisons, trois grands ensembles fonctionnels sont sollicités : des capacités perceptives et sensorielles (ex. pour prélever des informations dans l'environnement), des capacités cognitives (ex. traitement d'une information perçue pour interpréter et comprendre une situation, puis prendre une décision, etc.) et enfin des capacités physiques (ex. mouvement de tête pour consulter ses rétroviseurs, manipulation des commandes, etc.). Certaines de ces capacités peuvent représenter un effort ou une charge cognitive alors que d'autres sont fortement automatisées lorsque l'on conduit. Ces capacités sont mises en œuvre pour différentes sous-tâches réalisées au volant, parfois de façon isolée, mais souvent de façon combinée. La figure 2 illustre cette décomposition de l'activité de conduite, articulée autour de 3 grandes fonctions (Perceptive, Cognitive et Exécutive) et définie comme une double boucle de contrôle et de régulation dynamique : une boucle de contrôle attentionnel, conscient et explicite, et une boucle de régulation automatique et implicite.

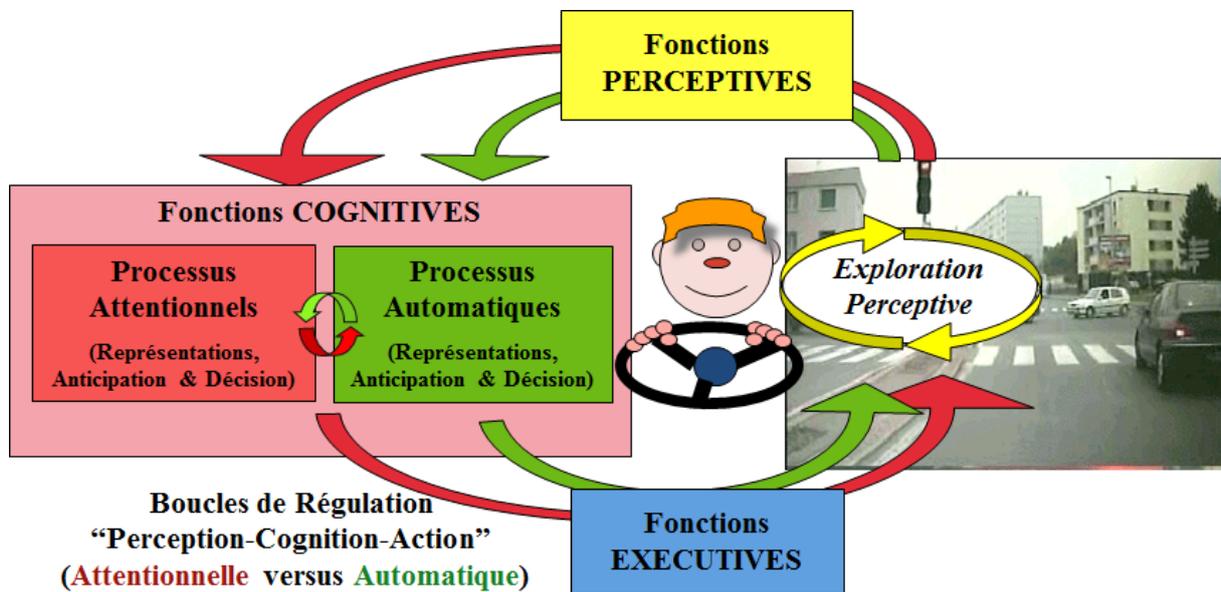


FIGURE 2 – « Perception - Cognition - Action », une double boucle de régulation dynamique de l'activité de conduite (adapté de [Bellet et al., 2012a])

Fonctions perceptives : Pour évoluer dans son environnement, le conducteur prélève de l'information en permanence. Le canal visuel est la principale source d'information qui est mobilisée au volant. Il n'est bien sûr pas possible de percevoir dans son intégralité tous les éléments qui constituent le monde qui nous entoure à chaque instant. D'une part, le cerveau humain ne peut assumer une telle capacité et d'autre part, toute une partie des éléments de notre environnement n'est pas pertinente pour la conduite du moment. Il est donc nécessaire de pouvoir filtrer au mieux les informations avant de les prélever pour les traiter. Retenons pour le moment que ce filtrage résulte des objectifs et des connaissances du conducteur dans une situation particulière. Il dépend notamment de l'interprétation que fait le conducteur de son environnement et de ses stratégies d'explorations perceptives.

Fonctions cognitives : Le conducteur peut être assimilé à un système de traitement de l'information. L'humain dispose en effet de récepteurs sensoriels et de structures mnésiques associés à des mécanismes pour la prise et le traitement d'informations. Les informations prélevées dans l'environnement permettent au conducteur d'interpréter et d'évaluer la situation dans laquelle il évolue. À partir de ce diagnostic de l'état courant du monde qui l'entoure, il établit une réponse comportementale qui lui permet de se déplacer de proche en proche. Une fois ses actions planifiées, le conducteur estime l'évolution de la situation dans les instants à venir pour s'assurer qu'il peut maintenir son plan. Si un événement est susceptible de venir perturber ses plans en cours, la nouvelle information est intégrée et le cycle recommence. Ce principe de pronostic de l'état futur d'une situation relève de l'anticipation.

Fonctions exécutives : Après avoir évalué la possibilité de réaliser une action (ex. s'engager à une intersection avec un véhicule arrivant à contresens mais évalué comme étant à une distance suffisante pour passer en sécurité), le conducteur met en œuvre les actions nécessaires sur les commandes du véhicule pour se déplacer et progresser sur sa trajectoire. En observant les conséquences de ses actions sur la situation courante, le cycle se poursuit. Le conducteur est ainsi en permanence impliqué dans une succession de cycles Perception-Cognition-Action lorsqu'il conduit.

La mise en œuvre de tous ces processus dans la dynamique de la conduite induit un certain coût, et les ressources du conducteur ne sont pas illimitées. En fonction de la situation dans laquelle il se trouve, la compréhension de la situation et la prise d'une décision peuvent être plus ou moins complexes. Là encore, notons que le conducteur raisonne sur le monde à partir d'un modèle mental de la situation qui joue un rôle prépondérant dans cette étape également, notion sur laquelle nous reviendrons en détails.

Ces trois piliers qui composent l'activité d'un conducteur s'articulent de façon cyclique. Il ne faut pas voir de linéarité dans ce cycle mais bien une sollicitation d'un ou plusieurs de ces axes de façon intégrée à tout moment lorsqu'on se trouve au volant. A l'image du modèle S-R-K de Rasmussen, le support au raisonnement en conduite automobile peut renvoyer à un niveau de contrôle variable en fonction de la complexité de l'infrastructure, de la connaissance des lieux, de l'expérience du conducteur ou encore de la densité de circulation à un instant donné. Conduire un véhicule peut donc être décrit comme une activité à composante physique d'une part (référant au niveau opérationnel) et mentale d'autre part (renvoyant aux niveaux stratégique et surtout tactique). C'est à cette dernière que nous nous intéressons dans la suite en nous plaçant du point de vue d'un conducteur lorsqu'il conduit.

1.3 La conduite du point de vue des processus cognitifs

Les composantes de l'activité de conduite étant précisées, il s'agit à présent de mettre en regard ces demandes de l'activité avec les processus qui permettent au conducteur de les satisfaire. Au delà de ces éléments favorables nous ne manquerons pas de faire état des contraintes du fonctionnement humain. Nous présentons pour certains processus, les structures qui les soutiennent, au sens de l'architecture cognitive.

Pour [Bellet, 1998], la conduite automobile peut être comparée, sous l'angle de ses composantes mentales, à des activités de supervision de processus dynamiques. En effet, « *comme dans ces activités, la conduite requiert de la part de l'opérateur : (1) de sélectionner, dans l'environnement, les informations pertinentes en vertu de ses objectifs et des exigences de la tâche, (2) d'interpréter la situation immédiate et d'anticiper son évolution à plus ou moins long terme, (3) de prendre des décisions en vue de s'adapter et d'interagir avec son environnement (via un dispositif technique particulier) de façon adaptée au contexte situationnel, (4) de gérer ses propres ressources et limites de manière à satisfaire les contraintes, notamment temporelles, inhérentes au caractère dynamique de la situation* » (p.90).

1.3.1 Des modèles centrés sur le risque à la cognition du conducteur

De nombreux travaux de modélisation s'intéressent au conducteur automobile et à son activité (dont on trouvera une synthèse dans [Bornard, 2012]). Du milieu des années 1970 jusqu'à la fin des années 1980, de nouveaux modèles ont vu le jour dans une optique de meilleure compréhension de l'origine des accidents. Ces modèles se sont pour la plupart articulés autour de la notion de prise de risque. Ils s'intéressent en effet à la régulation de l'activité mise en œuvre par le conducteur pour maintenir un niveau de risque estimé en deçà d'un risque toléré. Ces travaux insistent de façon plus nette sur les motivations et les connaissances mises en œuvre par le conducteur dans la production de son activité.

Parmi ceux qui se veulent computationnels, deux auteurs se sont inspirés des travaux de Michon pour proposer un Modèle Hiérarchique du Risque [Van der Molen and Bötticher, 1988], auquel nous nous référerons par le signe MHR. Leur objectif était de « *fournir un cadre structurel qui permette de décrire le processus de perception, de jugement et de décision à tous les niveaux de la tâche de conduite* ». La figure 3 présente le modèle MHR. On y retrouve sur l'axe vertical les trois niveaux stratégique, tactique et opérationnel et les temporalités qui leurs sont associées.

Un des éléments intéressants dans ce modèle se trouve dans la segmentation que proposent les auteurs dans le niveau opérationnel en deux modes de fonctionnement. Le premier mode est un mode de fonctionnement dans des conditions normales et conformes aux prévisions du conducteur. Dans ce mode, le niveau opérationnel est en charge de l'implémentation du *plan de manœuvre* produit au niveau tactique. Comme le rappelle [Bellet, 1998], ce mode peut prendre en charge toute une partie de la tâche de conduite fondée sur les habiletés (niveau SB de [Rasmussen, 1986]), comme le contrôle de la trajectoire. Le second mode, quant à lui, s'active dans une situation d'urgence présentant un risque manifeste d'accident. La détection d'un danger dans l'environnement par le conducteur déclenche un « *relais d'urgence* » (*Emergency Relay*) qui va activer une *décision d'urgence*.

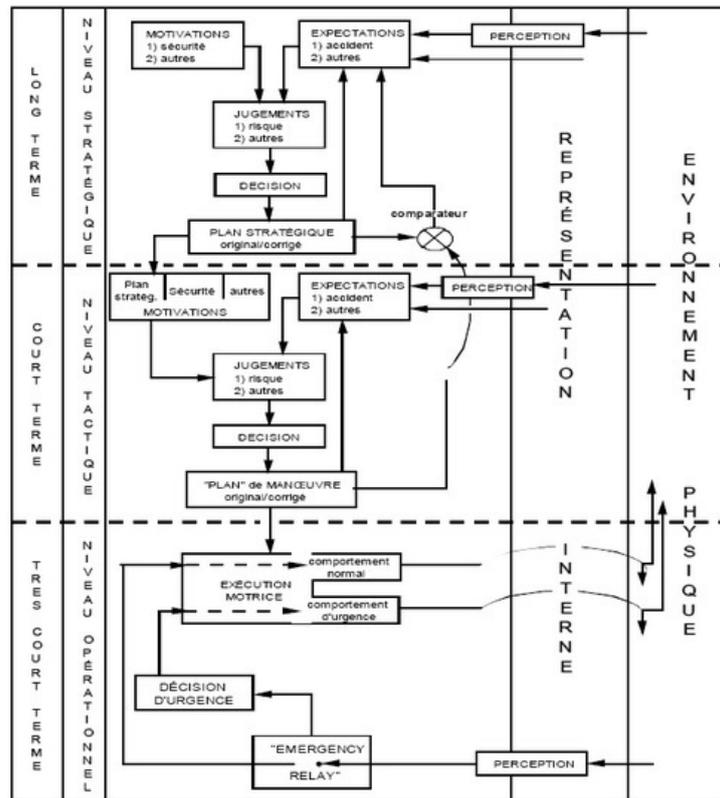


FIGURE 3 – Modèle de Hiérarchie du Risque (de [Van der Molen and Bötticher, 1988], présenté dans [Bellet, 1998])

Cette décision génère alors un « *choix rapide parmi un nombre limité de manœuvres d'urgence relativement stéréotypées* » [Van der Molen and Bötticher, 1988] (p.541) qui s'exprime sous la forme d'un *comportement d'urgence* correctif.

Tout comme dans les travaux de Michon, les trois niveaux qui sont repris par les auteurs ne sont pas indépendants. En effet, les traitements réalisés dans le niveau stratégique donnent lieu à des *motivations* particulières au niveau tactique. Les traitements réalisés au niveau tactique produisent un *plan de manœuvre* qui est transmis au niveau opérationnel pour exécution. Enfin, ces comportements produits vont modifier l'environnement physique, ce qui aura des conséquences à tous les niveaux du modèle par le biais de nouvelles données à percevoir.

Dans la continuité de ces travaux, le programme de recherche COSMODRIVE (pour COgnitive Simulation and MOdelling of the DRIVER) développé par Bellet vise un objectif encore plus computationnel : la simulation cognitive du conducteur. L'architecture générale proposée se compose de 7 modules susceptibles de fonctionner en parallèle et qui sont spécialisés dans la réalisation d'une partie des activités cognitives du conducteur (figure 4) : le module de perception, le module stratégique, le module de tactique, le module opérationnel, le module d'exécution, le module de contrôle et de gestion et enfin le module d'urgence.

À la différence du modèle de Van der Mollen et Botticher où chaque module possède une implémentation par un système d'équations, les traitements mis en œuvre dans COSMODRIVE renvoient à des niveaux plus fins et plus complexes.

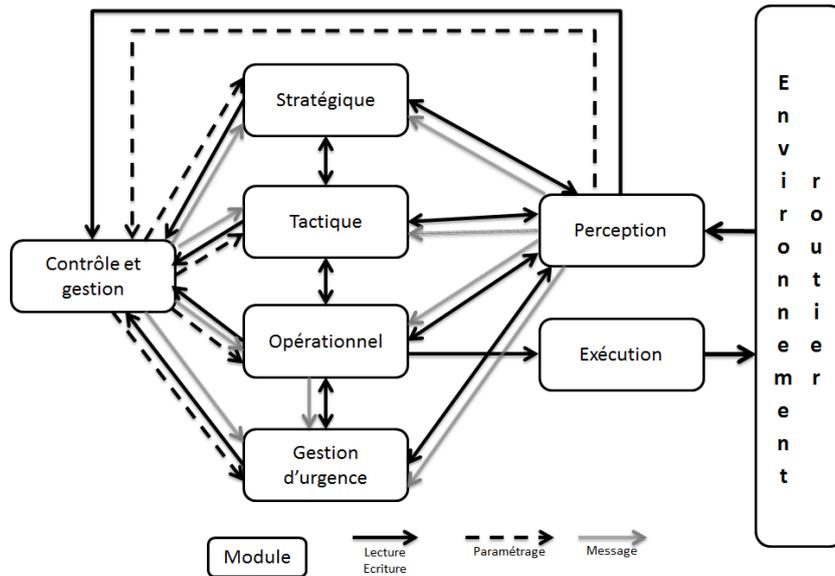


FIGURE 4 – Architecture générale de Cosmodrive (d'après [Bellet, 1998])

Par exemple, le modèle MHR s'inscrit dans une logique globalement séquentielle là où les traitements du modèle COSMODRIVE sont massivement parallèles. Enfin, si ces deux modèles partagent la notion de représentation interne, le modèle MHR est lacunaire quant à sa nature, son contenu et la façon dont elle est élaborée ou manipulée par le conducteur, ce à quoi s'intéresse tout particulièrement COSMODRIVE.

L'implication de tous les niveaux de la cognition humaine font de la conduite automobile une activité cognitivement complexe. On retrouve dans tous les modèles que nous avons présentés jusque là le principe d'encapsulation de l'activité et d'enchaînement des niveaux de cognition dans cette activité. A l'image de ce que [Rasmussen, 1986] met en avant dans son modèle l'« échelle double » qui étend son S-R-K, le niveau de complexité et de profondeur de traitement varie en fonction de la situation dans laquelle se trouve un opérateur. La présence de courts-circuits entre les différents ensembles fonctionnels de la cognition confère à l'humain une bonne adaptabilité de la complexité des raisonnements qu'il réalise.

1.3.2 La gestion de ses propres ressources

Pour réaliser le traitement des informations présentes dans une situation donnée, l'humain dispose d'une quantité de ressources mobilisables qui est limitée. Partant de là, pour que ce dernier puisse adapter son niveau de ressources disponibles aux exigences variables d'une activité comme la conduite, il lui faut pouvoir s'appuyer sur certains mécanismes pour exploiter au mieux les ressources dont il dispose. C'est la capacité à diriger son attention pour filtrer les traitements les plus importants à réaliser qui permet une gestion de cette répartition. Dans [Pauzié, 2013], l'auteur rappelle que l'attention est définie par [Posner, 1980] comme *focalisée* lorsqu'il s'agit de repérer des informations dans l'environnement routier, *soutenue* quand il s'agit de la maintenir dans le temps et *partagée* lorsqu'il s'agit de gérer simultanément plusieurs composantes de l'activité.

Là encore, les processus automatiques et contrôlés sont présents dans l'orientation de la focalisation de l'attention d'un point à un autre. En effet, cette orientation peut être la conséquence

d'un choix délibéré, correspondant à un contrôle conscient de la part du conducteur (on parlera d'orientation interne). Dans d'autres situations, elle est réalisée en réaction automatique à un événement apparu soudainement dans l'environnement (on parlera d'orientation externe).

1.3.3 Processus perceptifs bottom-up et top-down

On distingue deux modes de prélèvement d'informations : les processus *bottom-up* et *top-down*. Pour les premiers, l'information n'est pas activement recherchée par le conducteur mais elle s'impose d'elle-même, on parle alors d'*intégration perceptive* puisque le conducteur va intégrer une information du fait de son caractère prégnant dans son environnement. Pour les derniers, l'information est activement recherchée par le conducteur, qui dirige sa recherche d'informations en s'appuyant sur ses connaissances. Ces deux types de processus co-existent dans la conduite automobile.

Comme le soulignent Shinoda et collègues, les processus *bottom-up* ne sont pas suffisants pour assurer l'intégration des éléments de signalisation [Shinoda et al., 2001]. Par exemple, l'intégration d'un panneau « stop » nécessite une recherche active et donc la mise en œuvre de processus *top-down*. Cette recherche peut être facilitée par le recours aux connaissances acquises par la pratique de la conduite, et par la généricité des infrastructures. Ainsi, à l'approche d'une intersection qu'il reconnaît par un ensemble d'indices stables, le conducteur sait que les panneaux « stop » se trouvent sur le bord droit de la route ou encore qu'une signalisation horizontale doit être présente pour le matérialiser au sol. Les auteurs précisent enfin que cette facilitation par les connaissances inhérentes aux processus *top-down* n'est pas évidente pour la détection des éléments de l'environnement qui deviennent saillants.

Pour [Van Elslande, 1992] « *l'interaction du conducteur avec la dynamique temporelle des situations a notamment pour conséquence le caractère déterminant de l'utilisation des connaissances disponibles pour lui permettre d'interpréter les informations perçues et d'anticiper les informations à venir, afin de contrôler efficacement le scénario dans lequel il est engagé* ».

1.3.4 Les schémas de conduite

[Bellet, 1998] introduit le concept de schéma de conduite comme structure de connaissances utilisées par le conducteur pour piloter son véhicule et prélever l'information dans l'environnement. Ce formalisme de représentation des connaissances de conduite est inspiré des « *frames* » de [Minsky, 1975], des « *schèmes* » de [Piaget, 1936], et des « *connaissances catégorielles* » de [Rosch, 1975]. Les schémas de conduite constituent une façon de représenter les savoir-faire opératifs liés à l'activité de conduite (i.e. directement utilisables par le conducteur pour produire une activité). Un schéma est centré sur une situation particulière (ex. une manœuvre de tourner à gauche, un dépassement) ainsi que sur un niveau d'activité, tactique ou opérationnel.

Un schéma de niveau tactique est composé d'une séquence de phases d'activité qui sont associées à des zones d'évolution (i.e. des zones de l'environnement dans lesquelles le véhicule peut se déplacer) et à une ou plusieurs zones d'exploration (i.e. des zones de l'environnement dans lesquelles le conducteur prélève des informations importantes pour la conduite). Chacune des phases d'activité est associée à des buts tactiques et des processus opératifs qui sont divisés en sous-schémas (de niveau opérationnel). En conduisant, le conducteur prend des décisions qui

entraînent des changements d'un schéma à un autre ou d'une phase d'activité à une autre. La figure 5 présente un exemple de schéma tactique de tourne-à-gauche.

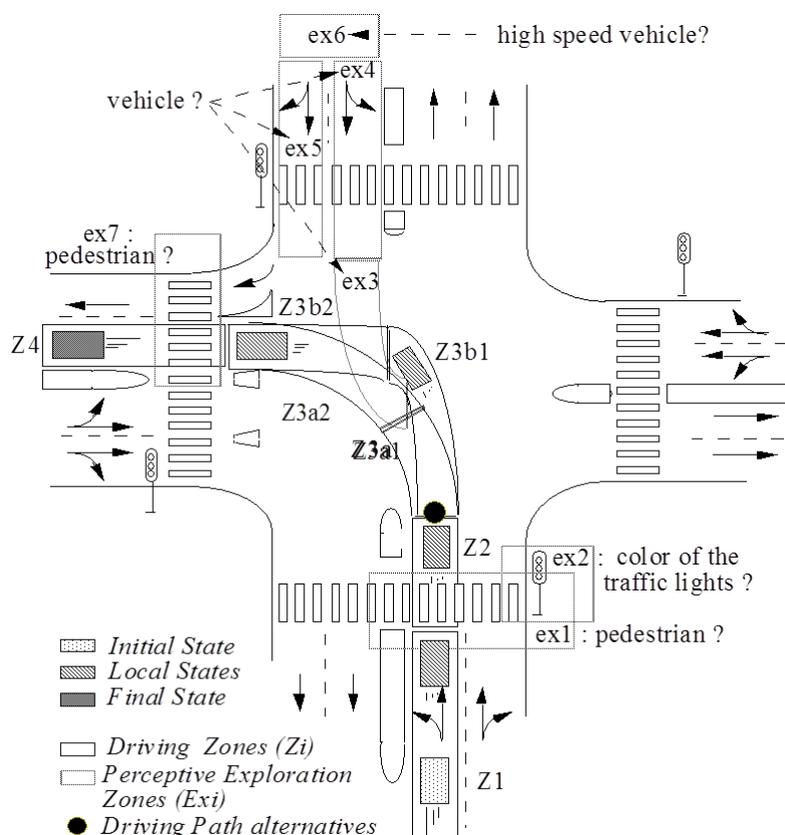


FIGURE 5 – Exemple de schéma tactique de tourne-à-gauche (de [Bellet, 1998])

Dans [Mathern et al., 2010], les schémas de conduite sont également présentés comme un cycle états-transitions permettant de décrire l'activité de conduite automobile selon différentes phases dynamiques. La figure 6 présente un exemple de schéma de dépassement sur autoroute. Les boîtes constituent les différentes phases d'activité et les flèches représentent les transitions entre ces différentes phases. Les deux exemples que nous introduisons sont très complémentaires. Le schéma du dépassement rend compte ici de la dynamique de la situation telle qu'elle a été utilisée dans des travaux précédents de découverte de schémas de conduite à partir de traces d'activité que nous évoquerons plus loin.

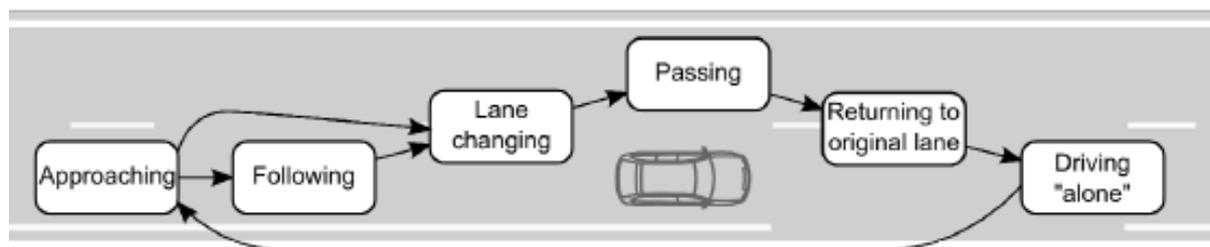


FIGURE 6 – Exemple de schéma tactique de dépassement réussi sur autoroute (de [Mathern et al., 2010])

1.3.5 La mémoire de travail dans l'architecture cognitive du conducteur

Ce qui différencie COSMODRIVE d'autres travaux dans le domaine, c'est la présence d'une architecture élémentaire du système cognitif humain grâce à laquelle on peut appréhender les mécanismes mentaux mis en œuvre au volant (figure 7). La mémoire de travail telle qu'elle est conceptualisée ici ne se limite pas au modèle de la Working Memory (WM) de [Baddeley, 1986]. Elle se veut plus proche des théories opératoires de l'activité de [Smirnov, 1966] et [Zintchenko, 1966] ou des travaux de [Bisseret, 1970]. L'enchâssement des niveaux de cognition apparaît dans la mobilisation de connaissances et de processus d'accès à ces connaissances (en lecture) qui permettent d'agir sur le monde extérieur en s'appuyant sur des représentations mentales qui sont alimentées par des processus perceptifs orientés vers l'environnement. L'accès à un ensemble de connaissances se fait également en écriture puisqu'on apprend de notre expérience en stockant les nouvelles connaissances pour les réutiliser dans une future situation comparable. Cette mise en correspondance bilatérale entre les caractéristiques d'une situation et les connaissances acquises par la pratique de la conduite par l'intermédiaire d'une mémoire de travail contextuelle peut être schématisée par des boucles de régulation.

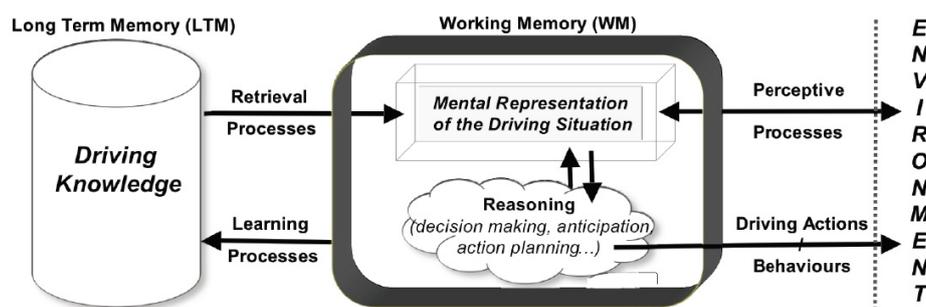


FIGURE 7 – Architecture élémentaire du système cognitif du conducteur (de [Bellet et al., 2009])

Pour [Smirnov, 1966], la mémoire et l'activité sont intimement liées car « *l'homme prend connaissance du monde qui l'entoure en agissant sur lui, en le transformant* ». Les travaux de [Zintchenko, 1966] sur la *Mémoire Opérationnelle* comme structure mnésique dont la fonction principale est de *servir les besoins concrets de l'activité* sont basés sur ce lien entre mémoire et activité opératoire. Cette mémoire opérationnelle contient les informations correspondant aux objectifs actuels de l'opérateur pour l'activité en cours et doit donc être distinguée de la Mémoire à Long Terme (LTM) [Bisseret, 1970]. Ceci lui confère donc un statut de mémoire transitoire et non permanente. Contrairement à la Mémoire à Court Terme, « *les informations disponibles en Mémoire Opérationnelle resteront disponibles aussi longtemps qu'elles seront utiles pour la réalisation de l'activité en cours* » [Bellet et al., 2009]. Ainsi, la Mémoire Opérationnelle outrepassé les capacités de stockage et de traitement de la WM de Baddeley. Comme le décrit Bellet, elle « *apparaît comme une sorte de Mémoire de Travail à Long Terme* » [Bellet, 1998]. Le concept de Mémoire de Travail (ou Working Memory) s'entend donc ici comme une « *structure d'accueil des connaissances actives instanciées en représentations courantes pour servir l'activité en cours* ». D'un autre côté, la Mémoire à Long Terme ou (LTM) correspond à une structure de stockage des connaissances permanentes, à l'état latent.

1.4 Le rôle central des représentations mentales en conduite

Au sein du modèle COSMODRIVE, les représentations mentales constituent la clé de voûte des activités mentales du conducteur. Après quelques précisions sur ce concept, nous précisons l'architecture cognitive humaine proposée dans COSMODRIVE, avant de détailler la nature des représentations mentales et leur rôle dans le processus de régulation de l'activité de conduite automobile. Nous verrons comment ces représentations mentales permettent au conducteur de comprendre et d'interpréter une situation de conduite, d'anticiper sur les événements futurs, et de décider de ses actions, tout cela dans des temporalités variables.

1.4.1 Définition et intégration dans la boucle de régulation

Le conducteur humain ne raisonne pas sur la réalité objective mais sur la représentation mentale qu'il s'en fait. Dans son interaction avec le monde, il se construit un modèle mental des événements et des objets qui l'entourent [?]. Ces représentations ne sont pas des copies exhaustives de la réalité objective. Comme le précise [Vergnaud, 1985], leur fonction principale est de « *conceptualiser le réel pour agir efficacement* ». Par conséquent, elles correspondent à une « *image opérative* » (au sens de [Ochanine, 1977, Ochanine, 1981]), c'est-à-dire à une vision simplifiée et fonctionnelle de la réalité, déformée et finalisée par l'action. Cette représentation interne est une *construction circonstancielle* [Richard, 1990] qui s'appuie sur des connaissances permanentes stockées en mémoire à long terme et constituent des structures transitoires qui sont activées et actualisées en mémoire de travail lors de l'exécution d'une tâche.

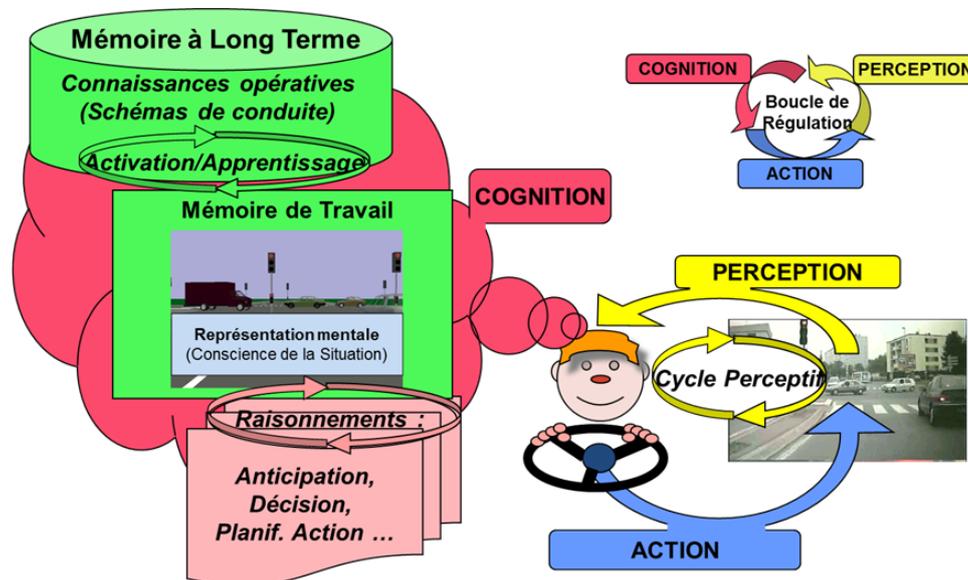


FIGURE 8 – Le rôle des représentations mentales durant la conduite (de [Bellet et al., 2012a])

Prise et traitement de l'information perceptive : C'est à partir de ce modèle interne que le conducteur, en s'appuyant sur des schémas de conduite qui sont activés dans la MLT et instanciés en Mémoire de travail, prélève de l'information dans l'environnement. On peut ainsi dire que « *comprendre une situation c'est se la représenter* » (au sens de [Richard, 1990], p.11) puisque se la représenter, c'est la mettre en correspondance avec des connaissances antérieures,

activées dans le contexte situationnel du moment. Dans COSMODRIVE (figure 8), la prise d'information est modélisée sous la forme d'un « *cycle perceptif* » (en référence aux travaux de [Neisser, 1976]) intégrant à la fois un processus top-down de recherche active de l'information dans l'environnement routier et un processus bottom-up d'intégration cognitive de ces informations dans les représentations mentales.

Anticipation et Décision : La prise de décision en conduite est basée à la fois sur la représentation mentale de la situation actuelle, mais également à partir de représentations anticipées des évolutions possibles de la situation (en fonction des événements pouvant se produire et/ou des effets d'une action). Dans COSMODRIVE, ce processus d'anticipation est décrit comme un « *déploiement cognitif* » permettant de dériver des représentations anticipées en considérant, par exemple, des actions alternatives. Le processus de décision revient alors à comparer les effets de ces actions alternatives pour déterminer celle qui sera la plus appropriée dans le contexte situationnel du moment.

Planification et supervision des comportements : Les actions de conduite mises en œuvre par le conducteur reposent directement sur les représentations mentales. En effet, ces représentations ne se limitent pas au modèle mental de la situation telle qu'elle a été perçue et comprise par le conducteur. Basées sur des schémas de conduite instanciés au réel, ces représentations intègrent un savoir-faire orienté vers l'atteinte de buts. Comme le souligne Bellet, « *ce sont des représentations opératoires, élaborées par et pour l'action [...], des constructions circonstanciées faites dans un contexte particulier et à des fins spécifiques [Richard, 1990]* ». Il ajoute qu'elles s'apparentent à des « *modèles intériorisés de la tâche [Leplat, 1985], élaborés pour l'activité du moment, mais qui pourront être stockés en LTM et réactivés ultérieurement dans de nouvelles situations, pour de futures réalisations de cette même tâche* » [Bellet et al., 2009].

Si la représentation mentale est erronée ou incomplète, alors le cycle perception-raisonnement-action peut aboutir à une situation d'accident ou plus généralement à une situation critique. Un bilan d'Études Détaillées d'Accidents (EDA) semble confirmer que c'est à ce niveau qu'il faut investiguer l'origine de l'erreur de conduite pour un nombre important d'accidents [Van Elslande, 1992]. Comme le résume [Bellet et al., 2003], il s'agit là sans doute d'« *une des principales difficultés de la conduite [...] : élaborer rapidement une représentation de la situation, par nécessité simplifiée, mais qui devra néanmoins permettre de réaliser les bonnes anticipations, de prendre les décisions adéquates, de prélever les informations importantes* ».

1.4.2 Représentations mentales explicites et implicites

Un des points très importants que met en avant Bellet, c'est la dualité des niveaux de conscience et les boucles de contrôle dans l'activité de conduite (figure 9).

Lorsque l'on conduit, on est en permanence en train d'effectuer des raisonnements à partir d'une représentation mentale que l'on a de la situation. En fonction du contexte de la situation et donc de la demande locale de la tâche de conduite, la complexité des raisonnements et leur niveau de traitement varient. Lorsque tout se passe bien dans une situation sans problème, la conduite repose essentiellement sur des processus automatisés, qui ne demandent aucun effort mental.

1.4. Le rôle central des représentations mentales en conduite

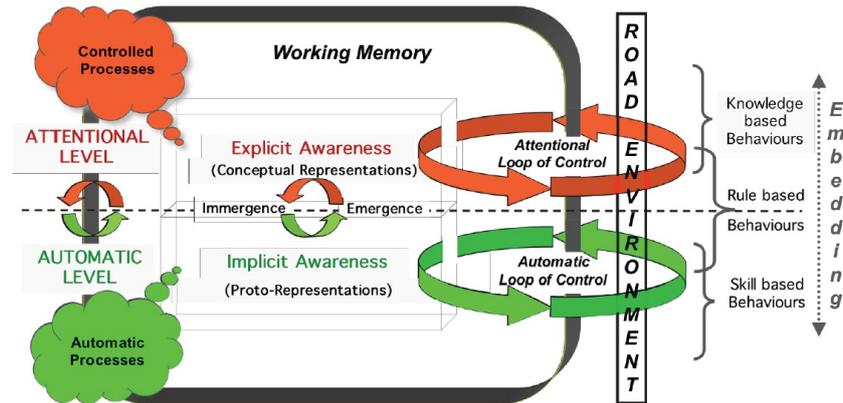


FIGURE 9 – Niveaux de conscience et boucles de contrôle de l'activité (de [Bellet et al., 2009])

Néanmoins, on entretient tout de même une représentation mentale, qui elle aussi est construite et manipulée de façon automatique sans que l'on en ait conscience : c'est la représentation mentale implicite. En revanche, lors d'un cisaillement de flux dans une manœuvre de tourne-à-gauche par exemple, tout conducteur sera attentif à la circulation et fournira un effort mental pour évaluer la position et la distance des véhicules arrivant à contresens pour prendre la décision de s'engager ou non. Pour ce type de tâche, il sera pleinement conscient de ce coût puisque l'opération repose sur des processus contrôlés : sa représentation mentale sera donc explicite.

Ces deux représentations mentales ne sont pas dissociées mais correspondent « *aux deux faces d'une même pièce* » [Bellet, 1998]. Lorsque dans une situation banale et sans problème, un changement ou une menace sont détectés, cela va provoquer une prise de conscience qui correspond à une émergence de leur existence dans la représentation mentale explicite. Cette émergence entrainera le recours à une boucle de contrôle attentionnel et explicite. Inversement, lorsqu'une situation particulièrement exigeante revient à la normale (ex. après le dépassement d'un camion), la régulation reposera sur un niveau de contrôle plus automatique, le niveau de conscience de la situation devenant alors implicite. Il s'agit donc d'une entité qui est en permanence constituée d'une portion explicite et implicite qui ne sont pas hermétiques grâce aux principes d'*émergence* (ex. d'une information implicite dans le champs de la conscience explicite) et d'*immersion* (ex. « enfouissement » des connaissances lorsqu'elles s'automatisent).

1.4.3 Des représentations mentales à la « *Conscience de la situation* »

Les travaux de Endsley constituent une référence majeure sur la notion de conscience de la situation. Elle définit la *Situation Awareness* (SA) comme « *la perception des éléments dans l'environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification, et la projection de leur état dans un futur proche* » [Endsley, 1995]. Dans sa *théorie de la SA en situation dynamique*, Endsley présente un modèle de la décision humaine qui s'articule autour de 3 niveaux distincts de SA. Le **niveau 1** correspond à la perception des événements dans l'environnement. Le **niveau 2** reflète l'interprétation de la situation qui est faite des éléments perçus. Enfin, le **niveau 3** renvoie quant à lui au principe d'anticipation dans le temps de l'état futur de la situation. L'auteur insiste sur le fait que la qualité de la SA peut être affectée par la quantité de ressources cognitives disponibles.

Comme le souligne Bellet, « *la principale critique que l'on peut adresser au modèle d'Endsley tient au caractère séquentiel de processus de traitement de l'information sur lesquels il repose : perception => interprétation => anticipation => décision => action, approche trop réductrice de l'activité cognitive en situation de régulation dynamique.* » [Bellet et al., 2009]. Nous utiliserons de façon interchangeable les termes « *conscience de la situation* » et « *représentation mentale* » dans la suite.

1.4.4 De la conscience de la situation à la conscience du risque

Dans les situations dynamiques, la gestion des risques consiste à gérer des risques qui peuvent être externes ou internes. Amalberti propose le principe d'un compromis cognitif recherché entre les exigences de la tâche (du point de vue de la performance, de la sécurité) et la nécessité de préserver les ressources cognitives (en termes de coûts) [Amalberti, 1996]. C'est au niveau de la conscience de la situation que se construit l'opérateur qui va s'exprimer ce compromis [Amalberti, 2001]. Une décennie plus tôt, les travaux de [Wilde, 1982] et le Modèle d'Homéostasie du Risque posaient l'hypothèse que dans toute activité de la vie quotidienne, l'humain accepte d'encourir un certain niveau de risque en regard d'un gain potentiel.

Du point de vue cognitif, la conscience du risque est présentée comme la *capacité à détecter des dangers* (ex. [Crick and McKenna, 1992]). Elle est définie comme la *capacité à lire la route et à anticiper les événements à venir* [McKenna et al., 2006]. On retrouve largement cette détection des dangers ou *hazard perception* dans la littérature et les auteurs utilisent de façon interchangeable les mots de *risk* ou *hazard*. Pour lever cette ambiguïté entre les termes, [Haworth and Mulvihill, 2006] ont proposé une définition du terme danger (hazard). Il comprend tout objet de l'environnement routier, permanent ou transitoire, fixe ou mobile, qui pourrait faire augmenter le risque de survenue d'un accident. Le risque quant à lui (*risk*) concerne l'évaluation subjective des conséquences potentielles que pourrait provoquer l'évènement critique. À partir de cette différenciation entre le danger comme une cause et le risque comme une conséquence, Grayson et collaborateurs proposent un *modèle de réponse au risque* [Grayson and Groeger, 2000] qui distingue 4 étapes d'adaptation au risque dans l'activité de conduite : la détection de l'imprévu, l'évaluation de la menace, le raisonnement et la sélection d'action et l'implémentation de ces actions.

En considérant ce modèle et la modélisation des représentations mentales de COSMODRIVE, [Bellet and Banet, 2012] mettent en avant l'existence de deux processus cognitifs impliqués au niveau de la *conscience du risque*. Le premier serait en charge de la *détection de danger* et reposerait sur la perception des événements externes et leur catégorisation par le conducteur. Le second correspondrait à l'*évaluation de la criticité situationnelle*, définie comme une des dimensions de la conscience de la situation du conducteur. Cette évaluation est centrée sur la dangerosité de la situation telle que la perçoit le conducteur, en regard de ses capacités à gérer les risques extérieurs. Les travaux de [Banet, 2010] sur la conscience du risque chez les motocyclistes ont notamment permis de démontrer que ces deux processus sont dépendants de l'expérience pratique et s'acquièrent dans des temporalités différentes, attestant ainsi de l'existence de deux processus cognitifs dissociés, bien qu'intimement liés et complémentaires.

En outre, les travaux de Banet se sont également intéressés aux effets des attitudes sur la conscience du risque, la prise de risque, et les comportements de conduite, et ceci en s'appuyant

à la fois sur l'approche COSMODRIVE et sur la théorie de l'action raisonnée de [Fishbein and Ajzen, 1975].

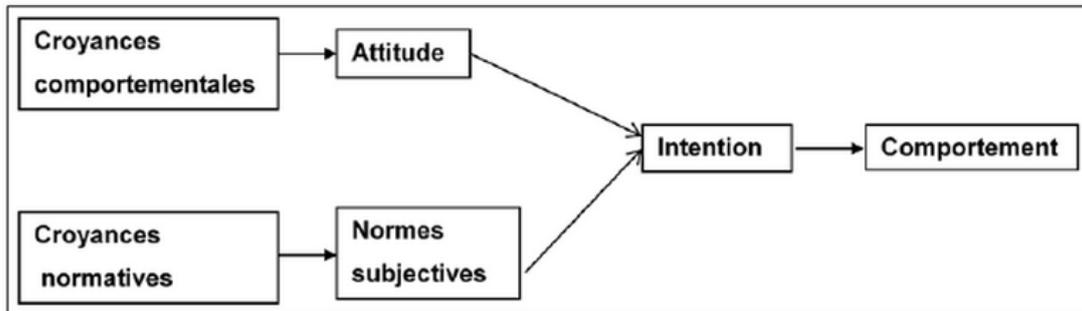


FIGURE 10 – La théorie de l'action raisonnée (d'après [Fishbein and Ajzen, 1975])

Selon le modèle de Fishbein et Ajzen (figure 10), l'*intention* serait le produit de deux déterminants conceptuels : l'*attitude* de l'individu envers le comportement à effectuer, et les *normes subjectives* envers ce comportement. L'*attitude* se définit ici comme une évaluation favorable ou défavorable de l'individu par rapport au fait d'adopter et de mettre en œuvre un comportement. Cette attitude dépend des *croyances comportementales* de l'individu, qui constituent une forme d'évaluation anticipée, une hypothèse que fait le sujet sur les conséquences probables du comportement visé, s'il est effectivement mis en œuvre. Mais l'*intention* dépend aussi dans le modèle de *normes subjectives*, elles-mêmes intimement liées aux *croyances normatives* renvoyant respectivement à des normes comportementales individuelles (ce que le sujet considère comme étant un type de réponse admissible, légale, voire valorisante pour son image vis-à-vis d'autrui) ou collectives (ce qu'il est admis de faire du point de vue des règles normatives de la société ou du groupe social d'appartenance). C'est par ce biais que le modèle rend compte de la pression sociale qui s'exerce sur l'individu.

Selon cette théorie, l'*attitude* ne détermine donc le comportement que de manière indirecte, c'est-à-dire par l'entremise de son influence sur l'*intention*, elle-même soumise à des normes subjectives et sociales. L'*intention* d'adopter ou non un comportement étant, au final, le véritable « *déterminant immédiat* » [Ajzen and Fishbein, 1980] de ce comportement. Si l'*attitude* et les *normes subjectives* sont favorables à la réalisation du comportement, alors l'*intention* de le réaliser sera forte et il sera très probablement mis en œuvre. En revanche, en cas de divergence entre l'*attitude* et les *normes subjectives*, l'individu devra résoudre ce conflit (cette dissonance cognitive) et la mesure des attitudes aura alors une valeur prédictive beaucoup plus faible, concernant la probabilité d'observer effectivement ce comportement.

L'une des critiques adressée par [Banet, 2010] (p. 93) concernant cette théorie de l'action raisonnée tient au fait que « *les intentions du sujet ne peuvent pas être simplement vues comme la conséquence des attitudes, mais qu'elles sont aussi le résultat de processus cognitifs : la façon dont le sujet humain perçoit et se représente cognitivement la situation (c'est-à-dire la conscience qu'il en a), puis les raisonnements qu'il met en œuvre pour prendre des décisions et identifier des buts à atteindre dans le contexte du moment (c'est-à-dire, ses « intentions », mais au sens plus cognitif du terme), afin d'engager une action appropriée à ce contexte (comportement). Cet ensemble de processus cognitifs et décisionnels, totalement absent des théories d'Ajzen et Fishbein, sont en revanche au cœur du modèle COSMODRIVE* », représentés en vert sur la figure 11.

Ce que présente cette figure, c'est l'intégration proposée par Banet des approches de la psychologie sociale et cognitive, au niveau de la production d'une intention « *respectivement dans ses dimensions attitudinales d'un côté, et cognitives de l'autre* », zone bleue de recouvrement des deux modèles sur cette même figure.

En proposant ainsi de considérer les « intentions comportementales » (et in fine, les comportements effectifs) comme le produit d'un compromis entre des attitudes (et au-delà, des normes, des représentations sociales et des croyances) d'un côté, et une évaluation cognitive du risque de l'autre côté, le modèle « intégré » proposé par Banet en figure 11, permet de rendre compte de la complexité des décisions humaines. A titre d'exemple, et pour se situer dans le cadre de notre propre recherche, un conducteur pourra transgresser ou non les limitations de vitesse pour des motifs très différents, ce dont peut rendre compte ce modèle.

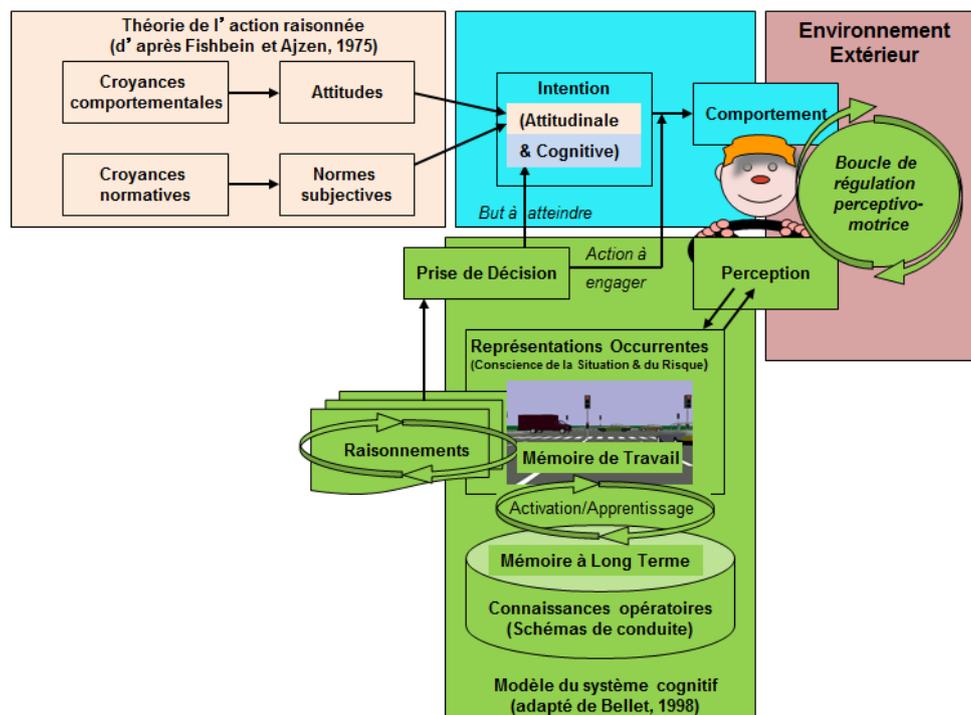


FIGURE 11 – Rôle des représentations sociales et cognitives dans la genèse de l'intention et des comportements (d'après [Banet, 2010])

Par exemple, s'il s'agit d'un conducteur très scrupuleux du respect code de la route (en raison de ses croyances, de ses normes sociales ou de ses attitudes), il aura tendance à vouloir respecter, du point de vue attitudinal de ses intentions tout au moins, la limite maximale autorisée. Si d'aventure il transgresse cette limite, ce sera plutôt la conséquence d'une erreur (négligence d'un panneau, ou méconnaissance des limites légales s'appliquant sur un tronçon routier, par exemple) et d'une mauvaise conscience de la situation. A l'inverse, s'il s'agit d'un conducteur moins scrupuleux et convaincu qu'il ne prend aucun risque en agissant de la sorte (au regard de ses croyances comportementales d'un côté, et de son évaluation cognitive du risque de l'autre côté), il n'hésitera pas à transgresser cette limite légale dès lors qu'il sera pressé. Dans ce cas là, il s'agira d'une transgression délibérée et volontaire (c'est-à-dire une violation au sens de [Reason, 1993]), mais jugée acceptable par ce conducteur au regard de sa conscience de la situation et de ses jugements de valeurs. Enfin, s'il s'agit d'un conducteur « défiant », il pourra décider de

dépasser la limitation de vitesse par pure bravade, par exemple (vis-à-vis de la loi ou des forces de l'ordre, pour impressionner ses pairs ou son passager, ou encore pour manifester une réaction d'agressivité vis-à-vis d'un autre conducteur, par exemple), y compris s'il juge cognitivement cet acte risqué, dans les limites toutefois de ce qu'il pense réalisable au regard de ses propres compétences de conduite, sans quoi il ne s'agirait plus de défiance, mais d'une prise de risque « ordalique » [Assailly, 1992], voire d'une intention délibérément suicidaire.

Au final, le comportement adopté par le conducteur correspondra à l'une ou l'autre de ces explications (ou à quelques autres que l'on pourrait ajouter) et, plus généralement, à un compromis entre ces différents déterminants de l'activité. L'un des objectifs, lors de nos expérimentations auprès des conducteurs âgés, sera de comprendre l'importance respective de certains de ces déterminants dans leurs comportements, ou dans les comportements de certains sous-groupes de conducteurs seniors. Ce sera notamment le cas concernant le respect des limitations de vitesse que nous tâcherons d'investiguer au moyen de différentes méthodes complémentaires, comme l'observation comportementale en situation de conduite, la réalisation d'entretiens d'auto-confrontation, ou le recours à des questionnaires dans le cadre de Focus Groups.

1.5 Conclusion synthétique

Ce premier chapitre a permis de poser le cadre de l'activité de conduite automobile, objet de notre étude. Nous avons montré en quoi la conduite relève d'une activité complexe notamment du fait de l'environnement dynamique dans lequel elle est réalisée. Cette activité est également très complète puisqu'elle sollicite un grand nombre de capacités humaines, cognitives et sensori-motrices. La littérature nous apporte des connaissances sur les différents niveaux de cette activité et les processus cognitifs impliqués en conduite qui nous seront utiles pour appréhender l'analyse de cet objet. De plus, les modèles rapportés dans ce chapitre, tel que COSMODRIVE et certains concepts qu'il décrit (schémas de conduite et conscience de la situation), nous offrent un cadre d'investigation à exploiter dans la suite de nos travaux.

À partir de ces éléments cadrants, le chapitre suivant va nous permettre d'identifier des moyens d'appréhender cette activité dans sa complexité, dans ses multiples dimensions et à des niveaux de granularité variables mais complémentaires.

Analyse de l'activité de conduite automobile

La conduite automobile est une activité complexe, impliquant un grand nombre de facteurs et de sous-systèmes en interaction. Cette complexité étant établie, nous devons nous poser la question des moyens qui sont à notre disposition pour mieux comprendre cette activité telle qu'elle est réalisée par un conducteur au volant d'un véhicule. L'Ergonomie est une discipline qui s'interroge spécifiquement sur l'activité et son analyse avec pour objectif l'intervention sur certaines composantes dans le but d'améliorer les conditions d'exercice de cette activité par l'opérateur.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les moyens ergonomiques permettant d'appréhender l'analyse de l'activité de la conduite automobile. Nous présenterons pour cela les concepts, outils et méthodes issus de la démarche d'intervention ergonomique dont le cœur de l'approche repose sur l'analyse de l'activité. Il s'agit de présenter en quoi l'analyse de l'activité appliquée à la conduite automobile peut répondre à nos objectifs.

Ce chapitre est décomposé en 3 sections :

- Nous apporterons d'abord des éléments de définition concernant l'activité ainsi que le principe et les méthodes de son analyse.
- Nous poursuivrons en reprenant les tenants et les aboutissants de cette approche pour l'appliquer à notre cadre d'étude de la conduite automobile.
- La dernière partie de ce chapitre positionnera l'analyse de l'activité comme un maillon intermédiaire dans le processus de modélisation de l'activité dans lequel s'inscrit cette thèse.

2.1 L'analyse de l'activité en Ergonomie

L'Ergonomie s'articule autour de l'approche d'analyse de l'activité [Leplat, 1985]. Nous débuterons par quelques précisions sur la notion d'activité à laquelle nous faisons référence depuis le début de ce manuscrit. Par la suite, il s'agira de présenter les principes, outils et méthodes largement utilisés dans cette discipline.

2.1.1 Le concept d'activité

La notion d'activité a été abordée dans un corpus de travaux soviétiques initiés dans les années 1920-1930 par Vygotsky et ses collaborateurs et regroupés sous l'appellation de théorie de l'activité. Ces travaux ont longtemps été ignorés de la communauté européenne des ergonomes et ont été redécouverts à la fin des années 1960. Dans les années 1920, la psychologie repose sur deux théories jugées insatisfaisantes par Vygotsky : la psychanalyse et le béhaviorisme. Pour remédier à cela, Vygotsky, notamment assisté de son élève Leontiev, formulent alors les concepts de l'« *action orientée vers l'objet* » et l'« *action médiatisée par les artefacts* » [Vygotsky, 1980]. Dans les relations entre l'individu et les objets de son environnement, la médiation par des moyens culturels, des outils et des signes est l'idée forte de cette première génération de travaux. Notons qu'il ne s'agit pas d'une théorie au sens strict, mais plutôt d'un ensemble de principes de base qui mettent l'accent sur le concept d'activité qui est retenu en opposition à d'autres concepts plus traditionnels tels que comportements, état mental ou cognition. En effet, le concept de comportement est trop mécanique et abstrait dans la façon dont il est abordé en psychologie, en supposant que tout élément extérieur engendre une réponse de la part de l'humain. Leontiev affirmait que la seule solution consistait en l'extension de ce qui était étudié en psychologie en s'intéressant aux « *processus que le sujet active pour créer une connexion réelle avec le monde des objets* ». Tout comme on le retrouve chez Rasmussen, l'humain n'est plus considéré ici comme simplement réactif aux stimuli de son environnement mais bien comme acteur de son activité, dans son interaction avec le monde.

Après la mort de Vygotsky, Leontiev développa alors une approche nouvelle dénommée théorie de l'activité. Le principe fondateur de cette théorie réside dans le fait que l'activité est définie comme l'*unité molaire de la vie* (« molar unit of life » [Leontiev, 1974], p.46). D'après l'auteur, l'activité est *un système possédant sa propre structure, ses propres transformations internes et son propre développement*. Il propose une structure hiérarchique à trois niveaux où il distingue l'activité, les actions et les opérations. L'*activité* est gouvernée par les *motivations*. Les *actions* sont gouvernées par des *buts conscients* et les *opérations* par les *conditions spécifiques des actions*. Le principe de réflexion est un des aspects importants de l'activité et de ses composantes selon Leontiev. En effet, une activité reflète les motivations, une action reflète son but et une opération reflète les conditions d'action. On retrouve également l'importance de la composante sociale dans les interactions entre l'agent et son environnement. Enfin, un autre principe décrit que les activités internes ne peuvent pas être analysées séparément des activités externes. En effet, l'utilisation des objets influence la nature des comportements extérieurs et le fonctionnement mental au travers des processus d'internalisation et d'externalisation.

La conduite automobile peut être assimilée à un travail en ce sens qu'elle sollicite des capacités sensori-motrices et cognitives, et donc nécessite des efforts dans sa réalisation. Dans les champs

disciplinaires de l'Analyse du travail et de l'Ergonomie, on distingue couramment la tâche et l'activité.

2.1.1.1 Distinction entre tâche et activité

L'Ergonomie est apparue au sortir de la seconde guerre mondiale et s'intéressait à cette époque, principalement à l'activité observable de l'opérateur en situation de travail. Cette discipline était alors orientée vers une analyse de performance de l'opérateur dans le contexte d'exécution de son travail. Cela impliquait alors d'observer l'opérateur en situation de travail afin d'optimiser son efficacité ainsi que les conditions dans lesquelles il devait atteindre ses objectifs. L'analyse des comportements de l'opérateur, de ses postures et de l'organisation des postes de travail avaient alors une place privilégiée dans la démarche d'intervention ergonomique. Dans l'évolution des cadres d'analyse de l'humain en situation de travail, [Darses et al., 2004] situent la naissance du concept d'activité dans les années 1960-1970. Ils précisent qu'« *en tentant de rendre compte non seulement des dimensions physiologiques, environnementales et organisationnelles d'une situation de travail, mais aussi des logiques opératoires qui la sous-tendent, on passa d'une ergonomie du comportement à une ergonomie de l'activité* » (p. 195).

Leplat propose une définition simple pour distinguer ces deux notions. « *La tâche, c'est le but à atteindre et les conditions dans lesquelles il doit être atteint. L'activité, c'est ce qui est mis en œuvre par le sujet pour exécuter la tâche* » [Leplat, 2004]. Il s'agit donc de deux niveaux du travail, le premier constitue une entrée pour l'opérateur et le second correspond aux processus mis en œuvre par l'opérateur pour produire une *tâche effective*, produit de son activité. On distingue par ailleurs la *tâche prescrite* (ce que l'on attend de l'opérateur) de la *tâche effective* (ce qui est effectivement accompli par l'opérateur) [Leplat and Hoc, 1983]. La tâche effective est donc une autre tâche pour laquelle les buts à atteindre et les conditions dans lesquelles ils doivent être atteints sont ceux effectivement pris en compte par l'opérateur. Comme dans la première définition, l'auteur ajoute qu'au sens large, la tâche comprend « *toutes les conditions extérieures susceptibles d'influencer l'activité à des degrés divers* ». Le contexte dans lequel se déroule l'activité est donc une composante indissociable de l'analyse du travail [Clot, 1999]. Dans le cadre de la conduite automobile, de nombreux travaux se sont d'abord intéressés à décrire la tâche de conduite. Les modèles taxinomiques évoqués plus loin en sont un exemple.

L'autre notion importante que nous apporte la démarche ergonomique concerne la dualité entre la partie observable *versus* non observable de l'activité.

2.1.1.2 Dimensions observables et non observables de l'activité

Comme nous l'avons indiqué précédemment, l'activité est un objet d'étude complexe et composé de dimensions multiples. Parmi ces dimensions, on distingue ce qui est observable de ce qui n'est pas directement observable. Cette observation peut être humaine ou technique via l'utilisation de capteurs pour mesurer l'état d'un paramètre du véhicule par exemple. Le comportement de l'opérateur en activité (le niveau opérationnel, ou niveau basé sur les habiletés), tel que la manipulation du volant est aisément observable. Pour le reste, les étapes intermédiaires de traitements et de raisonnements menées par l'opérateur ayant produit une activité ne sont accessibles que par l'opérateur lui-même. Néanmoins, comme nous l'avons évoqué, toute une partie des traitements et raisonnements mis en œuvre sont réalisés de façon très intégrée et automatique.

Il s'agit donc d'impliquer l'opérateur dans le processus d'analyse de son activité afin de se donner les moyens de clarifier la partie explicite de l'activité non observable (notamment au niveau tactique), et de l'accompagner dans l'explicitation des dimensions cognitives plus implicites de son activité.

Après avoir apporté quelques précisions sur les notions d'activité et de tâche, il est possible de s'intéresser aux outils et méthodes d'Analyse de l'Activité, démarche centrale de l'Ergonomie. Nous partirons du principe général de la démarche pour progresser vers plusieurs aspects spécifiques qui la constituent.

2.1.2 Analyse de l'activité : principes, outils et méthodes

Toute intervention ergonomique vise à améliorer un travail. Pour cadrer l'analyse, une connaissance précise de la tâche prescrite est souvent un pré-requis. Leplat rappelle également qu'il existe *un décalage* entre les « *buts et conditions effectivement pris en compte par le sujet dans son activité* », qui correspondent à la tâche effective, et les aspects prescrits de la tâche. Il poursuit en citant de nombreux travaux qui permettent d'affirmer qu'en s'intéressant à ce décalage, il est possible de tirer des enseignements précieux concernant la tâche et/ou l'opérateur en situation de travail, « *à condition de ne pas le considérer seulement de façon négative, mais d'en rechercher la source* » [Leplat, 2004]. Pour [Leplat and Hoc, 1983], la tâche effective peut être vue comme un « *modèle de l'activité* » se situant « *à l'intersection de l'objectif et du subjectif* » (p.56). Pour analyser l'activité, il s'agit donc de connaître la tâche prescrite située dans un environnement d'une part et les caractéristiques de fonctionnement de l'opérateur en situation de travail d'autre part.

2.1.2.1 Mesure de l'activité observable

Comme nous venons de le voir, une analyse de la tâche ne permet pas en soi de déterminer des leviers visant à faciliter l'activité d'un opérateur. Aux premières heures de l'ergonomie, l'analyste ne disposait guère d'autres outils que ses yeux pour observer et du crayon pour retranscrire sur papier ce qu'il observait sous forme de prise de notes. Cette configuration élémentaire s'est pourtant montrée très efficace pendant de nombreuses années. Elle correspond à l'observation écologique ou naturelle au sens où elle vise à observer l'opérateur réalisant son activité dans les conditions habituelles dans lesquelles il la réalise.

Pour la conduite automobile, cela traduit la nécessité d'effectuer notre observation sur la route, au volant d'un véhicule immergé dans la circulation. Une expérimentation ne reflétant pas les conditions habituelles de conduite des personnes âgées, il faudra prendre soin de ne pas influencer ces derniers par des outils de mesure qui seraient trop invasifs. Néanmoins, une étude sur le terrain de la conduite automobile nous permet de ne pas dénaturer l'activité que nous souhaitons analyser tout en respectant sa complexité naturelle [Leplat, 1982].

Avec les progrès technologiques, les ergonomes ont pu outiller leur activité d'analyse augmentant par conséquent la quantité d'informations capturées lors d'une observation, et par conséquent la diversité des composantes ainsi observées. Les dispositifs d'enregistrement vidéo et de captation de son permettent en effet d'enregistrer l'activité d'un opérateur sans interruption, là où un analyste observateur qui prendrait des notes ne pourrait tout saisir en temps réel. De plus,

le caractère peu invasif ou perturbateur de ce type de dispositifs permet à présent de limiter l'impact sur l'activité observée.

Néanmoins, cette tranche de l'activité une fois capturée, il reste à l'analyser. L'enregistrement de données permet de reVISIONNER (ou réécouter) ce qui s'est passé durant la phase observée, avec la possibilité de mettre pause, de revenir en arrière, ou d'avancer à la prochaine séquence qui nous intéresse, etc. Disposer d'une trace de cette activité, tout du moins de sa partie observable, offre l'intérêt de permettre une analyse détaillée des différentes séquences de l'activité observée, en matière de posture, de geste ou mouvement, ou encore de verbatim de la part de l'opérateur. Il est alors possible de scruter divers indices et de visionner l'enregistrement autant de fois que nécessaire pour cette analyse.

2.1.2.2 Accès à l'activité non observable

L'Ergonomie place l'activité au centre de son analyse. Elle prend en compte l'importance du point de vue de l'opérateur sur la partie cachée de son activité. Pour cela, l'entretien avec l'opérateur apporte de riches enseignements, en l'accompagnant dans le procédé de verbalisation de cette dimension interne et parfois plus cachée de son activité. Concernant le *moment* de cette verbalisation, elle peut être *anticipée*, *simultanée* ou *consécutive* à l'activité. La verbalisation *anticipée* peut apporter des éléments intéressants sur les plans qui seront susceptibles de guider l'activité. La verbalisation *simultanée*, si elle peut permettre un accès pertinent aux procédures opérationnelles appliquées par l'opérateur, présente néanmoins un risque de perturbation de l'activité en cours. Enfin, lorsqu'elle est consécutive à l'activité, la verbalisation doit autant que possible se baser sur un support permettant de limiter les difficultés de rappel en mémoire ainsi que la verbalisation de reconstructions étrangères à l'activité analysée [Hoc, 1991]. Hoc indique également que le support le plus couramment utilisé dans cette temporalité de verbalisation est l'auto-confrontation qui consiste à « *confronter l'opérateur à la trace de son comportement* » qui peut prendre différentes formes.

Dans sa composante interne, l'activité d'un opérateur peut être aisément verbalisée, dès lors qu'elle correspond à des éléments explicites et consciemment manipulés par l'opérateur. Néanmoins, comme nous l'avons déjà noté, il existe aussi tout un ensemble d'éléments qui sont implicites et que l'opérateur lui-même aura des difficultés à expliciter. Il s'agira alors de l'accompagner dans cette description à partir de différentes techniques d'explicitation à mettre en œuvre dans le cadre d'un entretien. Une partie de cette activité mentale peut également être inférée, dès lors que l'on dispose d'un modèle de la cognition du conducteur (COSMODRIVE) et d'indices apportés par l'explicitation. Nous reviendrons plus en détails sur ces techniques d'auto-confrontation et d'aide à l'explicitation de l'activité dans le chapitre dédié à la description de notre méthodologie.

2.1.2.3 Étude de cas pour l'analyse de l'activité

Leplat nous indique que l'étude de cas et l'analyse de l'activité sont deux démarches qui se recoupent sur de nombreux aspects, et indique en quoi elles peuvent « *s'enrichir des réflexions et des réalisations propres à chacune d'elles* » (dans [Leplat, 2002], p.1). Il rappelle que d'une manière générale, un cas correspond à une entité (ex. une situation de conduite en particulier) qui constitue une unité d'analyse. Cette unité est découpée dans la réalité dans un certain contexte qu'il est important de prendre en compte et dans une fenêtre temporelle plus ou moins longue.

Il repositionne l'étude de cas comme une démarche multidisciplinaire, notamment du fait de la « *triangulation de données* » [Hamel, 1997]. Il s'agit en effet de combiner plusieurs sources de données afin de garantir une analyse riche. L'auteur précise également que l'étude de cas doit posséder une finalité précise lorsqu'elle est menée. Concernant l'articulation de ces deux démarches, « *on pourrait dire ainsi que la méthode d'étude des cas est à l'origine et au terme de toute étude de l'activité : - à l'origine, pour une meilleure connaissance de la situation dans laquelle est plongée l'activité et l'identification des conditions critiques (c'est le propre du diagnostic) et - au terme de l'étude pour tester l'effet des conditions considérées pour en déterminer le rôle non seulement sur des critères terminaux, mais aussi sur l'organisation des conditions internes et externes* » ([Leplat, 2002], p.26). Nous verrons dans le chapitre 5 le formalisme de « *chronique d'activité* » que nous avons défini dans le cadre de nos *études de cas révélateurs d'une difficulté ou d'une erreur* de conduite.

2.1.2.4 Modélisation de l'activité

Comme son appellation l'indique, l'intervention en ergonomie vise à analyser une situation de travail pour mieux la comprendre afin d'agir pour une facilitation, une amélioration voire une sécurisation de cette situation. La notion de « *modèles* » en Ergonomie est définie par [Montmollin, 1995] comme « *une structure abstraite, générique, dont l'application à un contexte particulier permet de construire une représentation des comportements d'opérateurs dans une situation de travail, et permettant d'agir sur cette situation* ». Cité par [Darses et al., 2004], ces auteurs insistent à leur tour sur le fait que le modèle doit donc permettre de comprendre mais aussi d'agir.

Dans la section suivante de leur article, les auteurs présentent l'intérêt de recourir à des modèles en ergonomie, malgré les nombreuses objections que l'on peut leur attribuer (caractère contextualisé et singulier par exemple). Les arguments en faveur de la constitution de modèles sont qu'ils permettent d'éviter l'usage de modèles implicites et le gain de temps qu'ils peuvent offrir. Bien que tout modèle soit par définition une réduction de la réalité, il n'en est pas moins utile pour décrire mais aussi expliquer voire prédire. Le recours à des modèles permet également de conserver une trace de catégories de situations qui peuvent être retrouvées a posteriori (notion de ré-utilisabilité). Ils permettent également de « *mettre en avant les facteurs jugés cruciaux de chaque situation* ».

Enfin et surtout pour nos objectifs, les modèles représentent des outils pour l'abstraction à partir de données brutes qui est réalisée grâce aux formalismes de représentation qui sont appliqués [Sperandio, 2003]. Nous nous plaçons dans cet axe pro-modélisation qui constituera le fil rouge dans notre objectif d'une meilleure compréhension de l'activité de conduite telle que pratiquée par un sénior.

2.1.2.5 Performance, dysfonctionnements et erreurs

Nous avons décrit jusque là des principes de l'accès aux paramètres de l'activité mais nous n'avons pas évoqué la rationalité dans laquelle ils peuvent être considérés. Classiquement, on distingue deux grandes rationalités en analyse de l'activité : la mesure de performance d'une part, et l'analyse des dysfonctionnements et des erreurs d'autre part.

2.2. L'analyse de l'activité dans le cadre de la conduite automobile

[Leplat, 2004] précise que dans l'activité, le but est « *défini par un ou plusieurs critères, qui permettront d'évaluer la performance* ». Il est donc question de déterminer des indicateurs permettant d'évaluer une activité, et ce selon des dimensions très différentes. Ces indicateurs sont conçus en fonction des objectifs à atteindre par le biais de l'intervention ergonomique. En effet, la notion de performance doit s'entendre comme relative aux indicateurs qui sont instaurés, et non pas dans l'absolu.

L'analyse des dysfonctionnements offre également des retours intéressants vis à vis de l'activité. Un dysfonctionnement peut survenir à différents niveaux dans un système complexe. L'outil de travail peut par exemple avoir été mal conçu et ne pas permettre à l'opérateur de réaliser la tâche en satisfaisant toutes les contraintes qui lui sont imposées. S'il souhaite atteindre les objectifs qui lui sont fixés, il peut vouloir adapter sa conduite, voire contourner une procédure de sécurité, ce qui peut s'avérer dommageable. Au sein des dysfonctionnements, les erreurs ont un statut à part entière. Elles sont souvent révélatrices d'une difficulté, pour l'opérateur, dans une situation particulière, face à un problème donné. Nous verrons plus précisément ces deux grands axes d'analyse dans la dernière partie du chapitre.

Pour synthétiser les deux sections précédentes, on peut dire que l'activité est une entité complexe composée d'un nombre conséquent d'éléments en interaction. Une métaphore qui nous semble intéressante est celle d'un solide qui posséderait une infinité de faces. En effet, nous pouvons décrire l'activité comme une sphère constituée d'une infinité de facettes, chacune d'entre elles correspondant à une dimension de cette activité. Dès lors, analyser l'activité revient à tenter de concevoir un maillage suffisamment varié et cohérent pour tenter de rendre compte, d'une façon lacunaire quoi qu'il arrive, de la forme de cette activité. La section suivante va instancier ce principe au cas de la conduite automobile.

2.2 L'analyse de l'activité dans le cadre de la conduite automobile

Après avoir introduit les outils et méthodes pour l'Analyse de l'Activité, nous allons à présent instancier cette approche au cas spécifique de la conduite automobile. Le dessein de cette ultime partie de ce chapitre est de présenter plusieurs éléments sur lesquels nous pourrions bâtir la méthodologie de notre campagne de mesure et d'analyse de l'activité de conduite automobile.

2.2.1 Tâches et activité de conduite

Contrairement à la plupart des situations de travail, la conduite automobile est une activité variée, indéterminée et peu structurée, la prescription de la tâche étant faible, [Saad, 1987]. Si le code de la route régit quelques aspects du système routier, la diversité des situations rencontrées et l'absence de procédure formelle applicable engendre une formation « sur le tas » de l'expérience de conduite. Il en résulte un caractère très personnel et donc très hétérogène de la construction de cette expérience. Dans les années 1970, plusieurs auteurs se sont intéressés à la question de la conduite automobile, principalement dans une volonté d'identification des différentes tâches et sous-tâches de la conduite. [Michon, 1985] qualifie cet ensemble de travaux de *modèles taxinomiques* de la conduite.

L'objectif à atteindre était alors l'obtention d'une typologie la plus exhaustive possible de ces différentes composantes de la tâche, principalement à des fins de formation des conducteurs.

Les travaux de Mc Knight et Adams constituent un exemple de ce type d'approche, en présentant une taxinomie des tâches impliquées dans la conduite, regroupées en 9 macro-catégories [McKnight and Adams, 1970]. Leurs travaux sont basés sur 1700 « comportements de conduite » principalement issus de la littérature. Ces travaux, très intéressants par leur éclairage descriptif, souffrent néanmoins d'une faiblesse explicative. Comme l'écrira Michon lui-même quelques années plus tard, ce type de description « *traite plus du mets que de la recette* » [Michon, 1985]. En effet, ils sont focalisés sur les composants de la tâche et sur les comportements de conduite, mais pas sur le générateur de l'activité de conduite : le conducteur.

2.2.2 Enregistrement de l'activité de conduite en situation naturelle

Comme nous l'avons argumenté, la conduite automobile est une activité complexe et son analyse doit s'envisager dans la complexité naturelle. Cela implique la réalisation d'une campagne d'observations sur la route, au volant d'un véhicule qui se devra d'être instrumenté. En effet, l'enjeu est de disposer de mesures concernant les actions du conducteur et leurs résultantes sur la dynamique du véhicule. Au delà de la mesure, c'est l'enregistrement de ces informations qui sera en charge de produire une trace multi-dimensions de l'activité observée.

Il est d'importance de veiller à ce que les éléments contextuels de l'activité observée soient enregistrés également. En d'autres termes, c'est le contexte situationnel dans lequel prend place et s'exerce cette activité dont il faut conserver une trace. Ainsi, il faudra disposer de capteurs orientés vers l'extérieur du véhicule afin, par exemple, de connaître à chaque instant, l'infrastructure dans laquelle on se déplace, la présence d'autres usagers de la route, etc.

2.2.3 Explicitation de l'activité non observable consécutive à la conduite

Un entretien d'explicitation mené à la suite de la session de conduite nous apparaît vital dans la démarche d'analyse de l'activité de conduite dans ses diverses composantes. La part importante d'automatismes en conduite va rendre difficile la verbalisation de la part des conducteurs. Un enregistrement de leur propre activité de conduite devrait nous permettre d'offrir un support au procédé de remémoration adapté pour faciliter l'explicitation.

Ces efforts seraient vains si l'on omettait de considérer la traçabilité de l'activité mesurée pour son analyse a posteriori. En effet, les campagnes de mesures nécessiteront du temps, et il semble peu probable que le processus d'analyse, dans toute sa profondeur, puisse être réalisé au fur et à mesure. Il conviendra alors de consigner un maximum d'informations concernant les situations rencontrées par nos conducteurs ainsi que les problèmes éventuels. Ce suivi, s'il est soigneusement réalisé, permet un gain d'efficacité au moment de l'analyse en offrant les clés de lecture pour isoler, dans le corpus de données, les zones d'intérêts à privilégier.

2.2.4 Performance, dysfonctionnement et erreurs de conduite

Nous l'avons vu précédemment, l'ergonomie s'intéresse couramment à mesurer de la performance et à analyser les dysfonctionnements et les erreurs. Appliqués à l'analyse de la conduite, ces deux grands axes d'étude ont fait l'objet de recherches par le passé qu'il est intéressant de rapporter dans cette section.

2.2.4.1 Mesure de la performance de conduite

À nouveau dans les années 70, d'autres auteurs ont basé leurs travaux sur des observations de conduite en condition réelle. Parmi les plus célèbres, on trouve le modèle hiérarchique de la tâche de conduite de Allen et collaborateurs. Ce modèle répartit les tâches de conduite selon 3 niveaux de performance : la *macro-performance*, la *performance situationnelle* et la *micro-performance*.

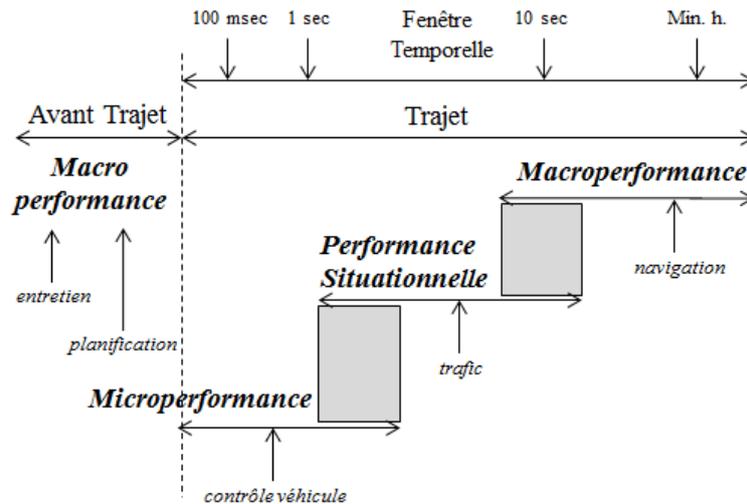


FIGURE 12 – Trois niveaux de performance de conduite (d'après [Allen et al., 1971])

La *macroperformance* concerne toutes les tâches en rapport avec la préparation de l'itinéraire avant sa réalisation (planification) et le suivi de ce dernier au cours du trajet (navigation). A ce niveau, on trouve également tout ce qui a trait à l'entretien et à la maintenance du véhicule. La *performance situationnelle* concerne les tâches en lien avec la gestion de la situation courante. Elle regroupe l'ensemble des tâches d'adaptation à la situation de conduite du moment, combinant l'environnement (infrastructure) et les conditions de trafic au sein de ce dernier. Pour ce qui concerne la *microperformance*, ce niveau rassemble les tâches en lien avec le contrôle du véhicule, principalement en longitudinal (la vitesse du véhicule) et latéral (la trajectoire du véhicule). Ces trois niveaux sont décrits par Allen (figure 12) sur une échelle temporelle dont l'empan varie proportionnellement avec le niveau considéré.

Qui dit mesure de performance dit indicateurs de performance. En matière de conduite automobile, les indicateurs de performance de conduite ont des noms multiples. De plus il ne semble pas y avoir de consensus dans leur dénomination puisqu'aucune ne domine. Enfin, leur définition en terme de calcul est très rarement absente [Savino, 2009]. Partant de ce constat, la Société d'Ingénierie Automobile (SAE) s'emploie à proposer un standard, dénommé J2944 visant à définir de façon précise les indicateurs calculés pour évaluer la performance de conduite et la manière dont ils sont agrégés dans les analyses statistiques quantitatives [Green, 2013]. Cette standardisation milite pour la possibilité de confrontation de résultats provenant d'études variées. Nous nous appuyerons sur ces recommandations afin d'inscrire notre démarche dans cette orientation de référentiel d'analyse documenté.

2.2.4.2 Analyse des dysfonctionnements et des erreurs en conduite

Dans le domaine plus général de la performance humaine, des travaux ont été menés sur la question des erreurs humaines dans les activités professionnelles comme dans les activités quotidiennes. Parmi ces derniers, les travaux de Reason peuvent nous inspirer dans la définition de notre approche.

Le modèle de l'erreur humaine de Reason

Dans son ouvrage de 1988, Reason propose un modèle de l'erreur humaine, le *Generic-Error-Modeling-System* (GEMS) [Reason, 1993], inspiré des travaux de Rasmussen (à qui il dédie cet ouvrage). Dans ce modèle, Reason introduit différents *types* et *formes d'erreurs*. Concernant les types d'erreurs, Reason en distingue 3 types, en reprenant la segmentation S-R-K de Rasmussen :

- Les *ratés* ou « *slips* » (lorsqu'il s'agit d'actes) et les « *lapsus* » (lorsqu'il s'agit de mots), qui correspondent à un dysfonctionnement au niveau SB. Dépasser une limite de vitesse par inadvertance alors qu'on est distrait est un exemple de *ratés*.
- Les « *erreurs* » (ou « *mistakes* ») qui renvoient à des dysfonctionnements aux niveaux RB et KB. Ce sont les erreurs au sens le plus commun du terme, c'est-à-dire lorsqu'on se trompe dans un raisonnement (erreur de calcul mental, par exemple) ou dans une prise de décision (engager un dépassement en plein virage). L'origine de ces erreurs peut être soit recherchée au niveau du raisonnement lui-même (oublier la retenue lors d'une addition mentale), soit au niveau des connaissances sur lesquelles ce raisonnement repose (par exemple, penser qu'en Grèce, comme dans tous les autres pays du monde, tourner alternativement la tête de la gauche vers la droite signifie « non »).
- Les « *violations* » qui correspondent à des transgressions délibérées de règles imposées. Dans la conduite automobile, dépasser délibérément les limitations de vitesse, alors que l'on connaît la vitesse maximale autorisée sur le tronçon routier emprunté et les règles du code de la route est un exemple de violation.

Ce dernier type d'erreur est d'une nature radicalement différente des deux autres, au point que sa classification en tant qu'« *erreur* » est discutable (nous conserverons le terme de *violation*). En effet, si dans les deux premières catégories, la nature involontaire des erreurs commises traduit parfaitement l'idée d'un dysfonctionnement au niveau perceptif ou cognitif, il n'en va pas de même pour les violations. En effet, le caractère délibéré de ces transgressions ne concerne plus, ni la perception, ni la cognition, mais renvoie à l'existence de « *normes* » ou de « *règles* » sociales que l'humain décide de ne pas respecter, « en son âme et conscience ». Comme le souligne [Banet, 2010] (p.71) « *si les « mistakes » et les « ratés » peuvent nous éclairer sur les compétences des conducteurs (ou plus exactement sur leur manque de compétence), les « violations » renvoient pour leur part directement aux « attitudes » des individus (à l'égard d'une règle de sécurité, d'un risque ou d'une prise de risque) ».*

Pour ce qui concerne les *formes d'erreurs*, elles sont également dépendantes du niveau de l'activité considérée et renvoient à des *formes récurrentes de défaillances* [Reason, 1993] (p.36). Ces *modes de défaillance* sont précisés en fonction du niveau de l'activité auquel ils renvoient. Au niveau SB, Reason en distingue 2 types, l'*inattention* qu'il qualifie également d'*omissions de vérifications*, et l'*attention excessive*, également dénommée *vérifications à contre temps*. Au niveau RB, l'auteur distingue l'*application erronée de bonnes règles* et l'*application de mauvaises*

règles. Les *modes de défaillance* au niveau KB, surviennent lorsque l'humain fait face à une situation pour laquelle il ne possède pas de solution passée directement applicable au *problème* qu'il rencontre. Ici, la dénomination de problème correspond à « *l'ensemble des indices, des indicateurs, des signes, des symptômes et conditions d'appel de schémas, qui sont immédiatement disponibles chez le sujet et sur lesquels il s'appuie pour trouver une solution* » [Reason, 1993] (p.131).

Dans le contexte de la conduite automobile, l'approche d'Étude Détaillée des Accidents routiers (EDA) développée à l'IFSTTAR constitue une autre source d'inspiration pour nos travaux.

Le modèle des EDA de Van Elslande

Van Elslande a proposé un modèle qui décompose l'activité de conduite en une série d'étapes fonctionnelles successives, impliquant différents processus perceptifs et cognitifs. C'est un modèle séquentiel qui vise à comprendre les raisons de l'accident en cherchant à identifier l'étape perceptivo-cognitive au cours de laquelle une défaillance est apparue dans les processus de traitement de l'information, tels qu'ils sont mis en œuvre par le système cognitif humain en conduite. Ce modèle (figure 13) distingue la *situation* puis les étapes *perceptive*, de *diagnostic*, de *pronostic*, *décisionnelle* et *motrice* qui aboutissent à une *réponse*.

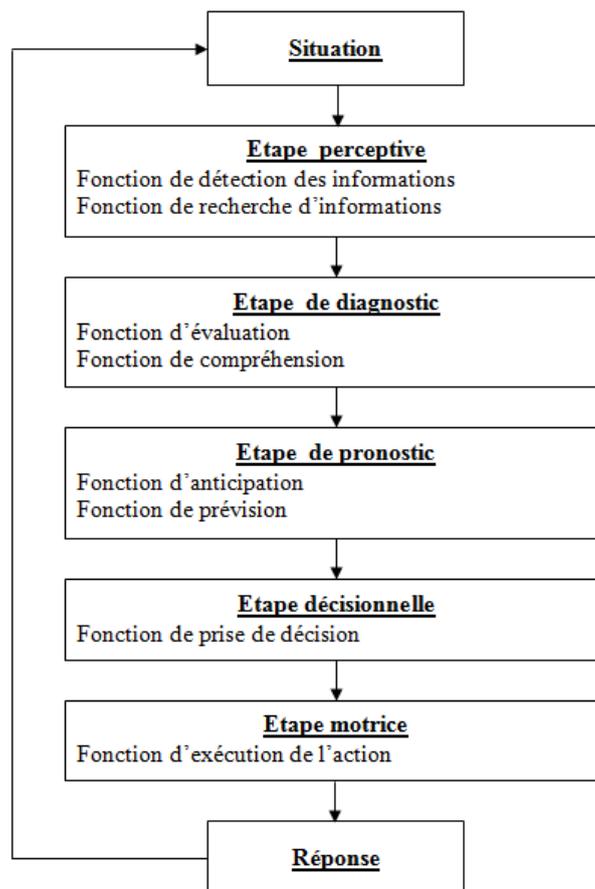


FIGURE 13 – Décomposition des étapes fonctionnelles engagées en conduite automobile (d'après [Van Elslande, 2001], p.97)

Van Elslande décrit chacun des éléments du modèle comme suit :

- La *situation* correspond à la situation de conduite « pré-accident », c'est-à-dire à l'état du monde juste avant que l'évènement critique ne se produise.
- L'*étape perceptive* inclut une fonction de recherche d'information et une fonction de détection des évènements ou des dangers potentiels se produisant dans l'environnement.
- L'*étape de diagnostic* « se scinde en une fonction d'évaluation d'un paramètre psychophysique (distance, temps, accélération) et une fonction de compréhension qui concerne l'interprétation des données collectées » [Van Elslande, 2001] (p. 98).
- L'*étape de pronostic* se caractérise par une fonction d'anticipation qui concerne l'évolution attendue d'une situation déjà identifiée et une fonction de prévision qui renvoie aux attentes développées concernant la rencontre d'un évènement non encore présent dans la scène visuelle à un instant donné.
- L'*étape décisionnelle* fait quant à elle référence à la prise de décision plus ou moins délibérée d'engagement d'une manœuvre spécifique à un moment donné.
- L'*étape motrice* : elle correspond à la fonction d'exécution des actions sélectionnées lors de la prise de décision et entreprises pour contrôler la trajectoire du véhicule à partir des organes de commande.
- La *réponse* fait référence aux résultantes des étapes précédentes, à savoir la réaction du véhicule et l'évolution de la situation de conduite dans son ensemble.

A partir de cette décomposition séquentielle, il est possible de définir différents types d'erreurs de conduite. La mauvaise détection (tardive voire inexistante) du danger correspond à l'étape perceptive. Les erreurs d'interprétation ou de mauvaise compréhension des évènements ou des informations se situent au niveau de l'étape de diagnostic¹. Les prédictions erronées quant à la probabilité de survenue d'un évènement ou d'un danger se situent au niveau de l'étape de pronostic. La difficulté rencontrée par le conducteur pour se représenter mentalement l'évolution temporelle et dynamique de la situation de conduite renvoie également à ce niveau². Les erreurs de décision concernent pour leur part les situations dans le cadre desquelles le conducteur, bien qu'ayant correctement analysé la situation, engage néanmoins une manœuvre inappropriée en regard du contexte de conduite. Enfin, les erreurs de manœuvre (ie. les difficultés à mettre en œuvre une action particulière), se situent au niveau de l'étape motrice.

Ce modèle des EDA de Van Elslande est à garder à l'esprit pour nos futures analyses. Néanmoins, on peut le critiquer sur la conséquence de sa linéarité tel qu'il phase l'activité : il n'est pas toujours évident de trancher entre la survenue d'un problème dans une étape et une autre, l'activité étant par essence dynamique. D'autre part, nous avons indiqué que la représentation oriente la perception, et par conséquent la précède, or le point d'entrée du modèle EDA concerne l'étape perceptive. En réalité, ce qui manque dans ce modèle, c'est l'aspect « cyclique » qui serait matérialisé par des liens entre les étapes cognitives (de diagnostic, de pronostic et décisionnelle), et l'étape perceptive. En effet, la boucle de rétro-action du contrôle de la perception, l'orientation du traitement, les processus de détection et d'analyse de la situation ne sont pas pris en compte. C'est la force d'un modèle comme COSMODRIVE qui décrit la logique distribuée des processus, qui sont articulés autour de la représentation.

¹on peut référer aux niveaux 1 et 2 de la *conscience de la situation*, bien que VanElslande n'évoque pas ce concept

²qui correspond au niveau 3 de la *conscience de la situation*

2.3 De l'analyse à la modélisation de l'activité de conduite

Parmi les travaux antérieurs menés à l'IFSTTAR-LESCOT dans la continuité desquels s'inscrit notre travail, on peut citer deux thèses réalisées en étroite collaboration avec le laboratoire LIRIS (Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information). Ces travaux ont porté sur l'analyse et la modélisation de l'activité à partir de traces dans une démarche d'Ingénierie des Connaissances.

2.3.1 Analyse de « traces d'activité »

Une « trace d'activité » est un ensemble de mesures horodatées. Ce concept a été initié dans l'approche MUSETTE développée au LIRIS [Lafraquière and Prié, 2003], qui s'intéresse à cette question dans le domaine de l'informatique (ex. analyse de traces d'interactions d'un utilisateur avec un logiciel). Les éléments contenus dans la trace sont nommés les *observés* (correspondant bien à l'idée du résultat d'une observation, de quelque nature que ce soit).

Deux thèses menées à l'IFSTTAR-LESCOT se sont intéressées à la question de l'ergonomie instrumentée pour l'analyse de traces d'activité de conduite. La thèse de [Georgeon, 2008] s'est focalisée sur l'analyse de traces d'activité de conduite telles qu'elles peuvent être produites par un véhicule instrumenté. Le principe d'analyse mis en œuvre par Georgeon consiste, à partir d'une « trace collectée³ », à appliquer des règles d'inférences (appelées « modèles de transformations ») pour obtenir une « trace analysée », enrichie par de nouveaux observés. Par ce mécanisme d'abstraction progressif, Georgeon a montré la possibilité d'inférence des intentions, à partir de traces d'activité. La figure 14 propose un exemple de visualisation⁴ d'une trace d'activité dans une situation de changement de voie sur autoroute. On voit sur cette figure que le niveau d'enchaînement des observés (initiaux et inférés) que l'on visualise constitue une séquence de micro-activités qui se combinent en une manœuvre plus globale de changement de voie telle qu'elle a été réalisée par le conducteur.

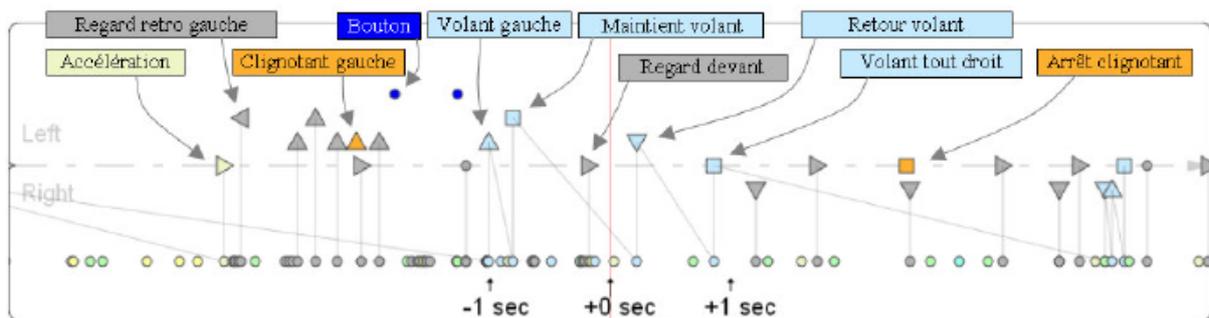


FIGURE 14 – Visualisation d'une trace d'activité de changement de voie (de [Georgeon, 2008])

³constituée de points remarquables comme les minimums et maximums locaux d'un paramètre (vitesse du véhicule, position du volant ou l'accélération latérale par exemple), l'activation et l'arrêt du clignotant, une consultation d'un des rétroviseurs, ou toute autre information liée à l'activité de conduite

⁴issue de l'atelier logiciel ABSTRACT (pour *Analysis of Behaviour and Situation for menTal RepresenTation Assesment and Cognitive acTivity modelling*), développé par Georgeon durant sa thèse

Ce que nous retenons de ces travaux, c'est la possibilité de décrire l'activité de conduite en partant de traces produites par le véhicule instrumenté, à différents niveaux et avec la possibilité de remonter à certaines dimensions cognitives de cette activité (l'intention d'entamer une manœuvre de dépassement par exemple) en utilisant la logique d'abstraction.

2.3.2 Modélisation de l'activité à l'aide de diagrammes états-transitions

Dans la continuité des travaux de Georgeon, la thèse de [Mathern, 2012] portait quant à elle sur la modélisation de l'activité à l'aide du formalisme des diagrammes états-transitions, à partir de traces d'activité⁵. La démarche consiste à rechercher des régularités ou des patterns dans les différentes traces pour produire un automate, correspondant à une « synthèse » de différentes séquences contenues dans les traces d'activité. Pour cela, l'algorithme analyse les traces et détermine des relations qu'il soumet à l'approbation de l'analyste. En éliminant les relations aberrantes ou en ajoutant des états non découverts par l'algorithme par exemple, l'analyste obtient au fur et à mesure des itérations, un automate qui correspond à une synthèse de différentes séquences observées dans les traces.

Mathern présente par exemple un modèle automate (basé sur le formalisme des Réseaux de Pétri) correspondant au début d'une phase de dépassement (figure 15), en utilisant des traces analysées et produites par la logique d'abstraction introduite par Georgeon appliquée au niveau tactique de l'activité. Les états sont matérialisés par des ronds, les transitions par des rectangles noirs.

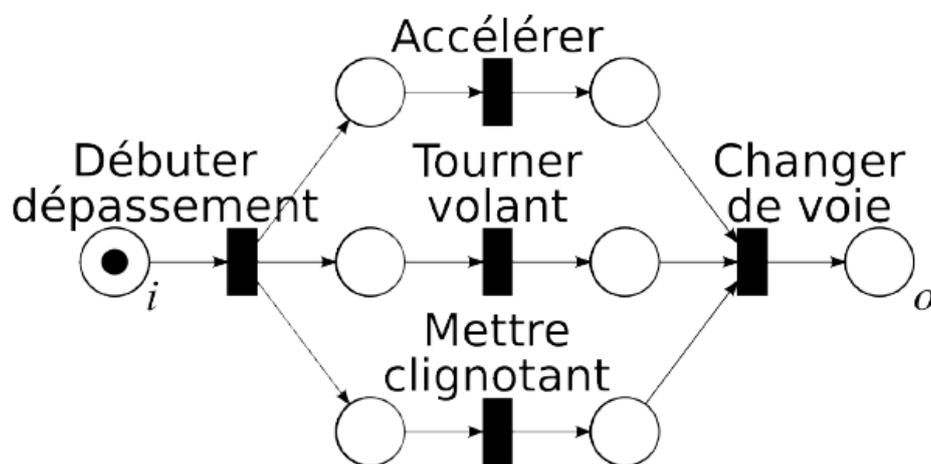


FIGURE 15 – Exemple d'automate correspondant au début d'une phase d'activité de dépassement

Dans cet exemple, on peut voir qu'après « Débuter dépassement », on peut observer « Accélérer » et/ou « Tourner volant » et/ou « Mettre clignotant » avant de « Changer de voie ». En effet, la logique de parallélisme, telle qu'elle existe dans les différents niveaux de l'activité est présente dans les réseaux de Pétri.

⁵Pour cela, Mathern a proposé un prototype destiné à accompagner l'analyste dans un cycle de construction interactive de connaissances (AUTOMATA pour AUTOMata Modelling of the Activity, based on Trace Analysis)

Ce qu'a montré Mathern et que nous utiliserons dans notre approche, c'est qu'il est possible, à partir de traces d'activité (obtenues à l'aide d'un véhicule instrumenté), de décrire et modéliser progressivement l'activité sous la forme de séquences états-transitions (graphes). Une fois les différents états et transitions découverts, ce graphe-modèle peut être utilisé pour l'analyse de l'activité, notamment en utilisant les paramètres identifiés dans les conditions. Dans le cadre de cet exemple, l'automate correspond à une partie de la séquence états-transitions d'une phase d'activité de dépassement, comme on peut le voir figure 16.

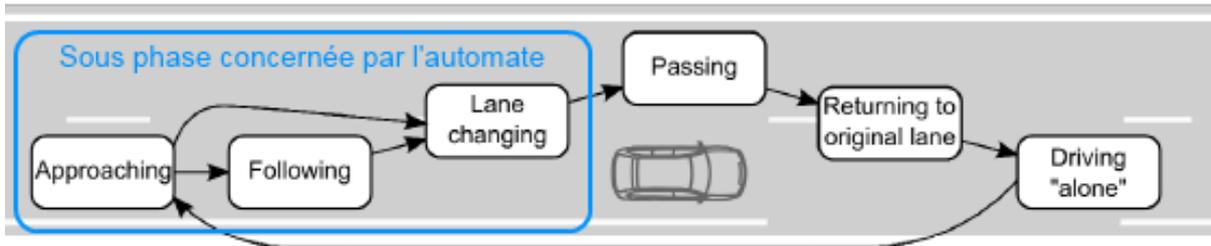


FIGURE 16 – Exemple de schéma tactique de dépassement réussi sur autoroute (de [Mathern et al., 2010])

2.4 Conclusion synthétique

Dans ce deuxième chapitre, nous avons mis en avant des principes ergonomiques concernant l'objet d'étude ainsi que les principes et méthodes qui régissent l'analyse de l'activité, principe central de l'ergonomie. L'observation de l'activité dans son contexte le plus naturel et écologique possible, apparaît comme un pré-requis de premier ordre. Cette observation doit permettre, en mobilisant différentes techniques de captation, d'offrir un éclairage sur les dimensions directement observables de l'activité, mais également sur ses dimensions non observables qui se situent dans la tête du conducteur et qu'il peut au moins partiellement expliciter. Nous avons notamment insisté sur l'intérêt de se focaliser sur les dysfonctionnements et les erreurs afin de produire des connaissances sur les déterminants internes et externes de leur production. Ces connaissances sont le produit de l'analyse de l'activité et constitueront dans notre démarche un cahier des charges des situations de conduite à assister. En complément de l'approche ergonomique classique, nous avons situé notre approche d'analyse et de modélisation de l'activité de conduite automobile dans le continuum de travaux antérieurs menés au sein du laboratoire IFSTTAR-LESCOT.

Nous avons vu que le conducteur mobilise des processus cognitifs et des connaissances qu'il a acquises au cours de sa pratique pour satisfaire les exigences de cette pratique. Si l'on a mis en avant les situations dans lesquelles une défaillance du conducteur peut survenir, il ne faut pas omettre de signaler sa fantastique capacité d'adaptation qui lui permet, dans un grand nombre de situations difficiles, de s'en sortir seul grâce à ses aptitudes de régulation. Si ces aptitudes nécessaires se trouvent altérées, c'est toute la conduite qui s'en trouve impactée. Bien évidemment, les effets de certaines limitations seront très variables d'un individu à un autre. Pour la population des conducteurs âgés, cette mise en regard des capacités humaines avec les exigences de la conduite prend tout son sens. C'est ce dont va traiter le chapitre suivant.

Conducteurs âgés

Comme indiqué précédemment, le système routier comporte une grande diversité, que ce soit les infrastructures, types de véhicules, ou catégories d'usagers. Parmi les catégories de conducteurs, les jeunes (18-24 ans) sont depuis de nombreuses années au centre des préoccupations de la sécurité routière du fait de leur sur-représentation dans les accidents de la circulation. L'accident est en effet la première cause de mortalité chez les jeunes adultes avec plus d'un tiers des décès [ONISR, 2013a].

Les personnes âgées focalisent néanmoins de plus en plus l'attention, notamment du fait de la conjoncture démographique. Or, comme nous l'avons vu, la conduite est une activité exigeante, d'autant plus pour une personne âgée qui voit ses capacités diminuer. Dès lors, deux enjeux sociétaux actuels se font face : maintenir et promouvoir l'auto-mobilité des âgés d'une part, et assurer une sécurité routière accrue pour tous d'autre part.

L'objectif de ce chapitre est donc d'apporter des éléments de réflexion concernant les conducteurs âgés. Puisque nous visons une meilleure connaissance des difficultés auxquelles sont confrontés les seniors lorsqu'ils conduisent, nous nous appuyerons sur la littérature afin de poser des problèmes couramment rapportés. Nous pourrions ainsi pré-identifier des situations de conduite ou manœuvres dans lesquelles nous irons analyser en détails la façon dont s'expriment ces difficultés.

Ce chapitre est composé de 4 sections :

- Pour débiter, nous nous intéresserons à l'auto-mobilité des personnes âgées. Il va s'agir en premier lieu de s'appuyer sur des données démographiques afin d'identifier la part d'individus concernés et de décrire rapidement leur rapport à la conduite.
- Outre ces données générales, nous nous intéresserons aux effets du vieillissement normal sur les capacités physiques, sensorielles et cognitives, en tentant de montrer en quoi ces modifications sont susceptibles d'interférer avec les exigences de l'activité de conduite.
- Ces prévisions d'impact négatif du vieillissement sur la conduite seront confrontées à des éléments plus factuels issus des données d'accidentologies et de la littérature dédiée aux seniors dans la sécurité routière.
- Enfin, nous évoquerons les stratégies d'adaptation qui peuvent être mises en œuvre par les conducteurs âgés.

3.1 Auto-mobilité des âgés : un enjeu sociétal

Le vieillissement de la population est un phénomène planétaire. Dans cette section, nous tenterons de répondre à plusieurs questions qui concernent notre propos : qu'est-ce qu'une personne âgée ? Quelle est la part de cette classe dans la population des conducteurs ? Et quel est le rapport qu'entretient cette catégorie d'utilisateurs avec la pratique de la conduite automobile ? Bien qu'il n'existe pas de définitions uniques du vieillissement et de la vieillesse, nous apporterons des éléments de compréhension afin de cadrer notre réflexion.

3.1.1 Conjoncture démographique actuelle et future

Nous allons tout d'abord nous attacher à donner des éléments de définition du vieillissement, avant de rapporter des informations sur la démographie des séniors.

3.1.1.1 « Définitions » du vieillissement et de la vieillesse

Au sens biologique, le vieillissement est un ensemble de processus naturels et universels. Ces processus lents concernent toutes les cellules du corps et entraînent des modifications physiologiques et psychologiques. Ces modifications de certaines structures de l'organisme s'accompagnent d'une dégradation progressive des capacités fonctionnelles associées. L'influence des facteurs intrinsèques (ex. liés à l'hérédité) et extrinsèques (environnementaux) conduit à une grande variabilité, que ce soit d'un individu à un autre, mais également d'un processus à un autre. On distingue la sénescence (vieillissement normal) de la sénilité (vieillissement pathologique). Concernant l'étude de l'impact du vieillissement pathologique sur la conduite, d'autres travaux sont menés à l'IFSTTAR-LESCOT (ex. [Ranchet, 2011] pour le cas de la maladie d'Alzheimer). Nous nous focaliserons pour notre part sur le cas du vieillissement normal.

La vieillesse est définie comme l'ultime période de la vie d'un humain (communément appelée 3^{ème} âge) qui succède à l'âge mûr et qui se traduit par une manifestation plus nette des effets du vieillissement. Contrairement aux autres périodes de la vie qui sont clairement définies, il n'existe pas de consensus concernant un âge seuil de la vieillesse, d'un domaine à un autre. En effet, la grande hétérogénéité inter-individuelle dans l'expression du vieillissement pour un âge donné invite à considérer l'âge fonctionnel (ou biologique) plutôt que l'âge chronologique.

3.1.1.2 Démographie de la population des séniors

Au sens démographique, le vieillissement de la population traduit l'augmentation de la proportion de la population âgée, en général de plus de 60 ou 65 ans. Pour aborder l'angle démographique, nous nous référerons à la définition de l'Organisation Mondiale de la Santé qui fixe l'âge d'entrée dans la vieillesse à 65 ans. Nous retiendrons par ailleurs le terme de *sénior* dans la suite pour faire référence aux personnes de 65 ans et plus. D'après le bilan démographique de l'année 2013 réalisé par l'Institut national de la Statistique et des Études Économiques (INSEE), la population française a atteint 66 Millions d'habitants au 1^{er} janvier 2014. En consultant les estimations de population réalisées fin 2013 par sexe et âge au 1^{er} janvier 2014 en France¹, on constate que les habitants âgés d'au moins 65 ans représentent 18% de la population avec plus de 11 848 000 individus. Parmi eux, les 75 ans et plus comptent pour plus de 9% de la population

¹www.insee.fr/population-totale-par-sexe-et-age-au-1er-janvier-2014

française. Parmi les 65 ans et plus, on dénombre environ 42% d'hommes et 58% de femmes. Ramenées à la population totale, les femmes seniors représentent plus de 10% de la population avec plus de 6,8 millions d'individus et les hommes un peu moins de 8% avec un peu plus 5 millions d'individus. Si l'on compare la répartition des genres au sein des 28 pays de l'Union Européenne en 2013, on note une répartition des genres comparable chez les plus de 65 ans qui représentent 57% des individus. Les résultats du recensement de la population de 2011 (RP2011) indiquent qu'au-delà de 80 ans, cette proportion est encore plus favorable pour les femmes, du fait d'une meilleure espérance de vie².

L'espérance de vie à la naissance continue de progresser et l'écart entre les hommes et les femmes ne cesse de diminuer (environ 6 ans en 2013) [Bellamy and Beaumel, 2014]. Bien que cette progression soit plus modérée pour l'espérance de vie à 60 ans, on constate la même tendance. Le nombre de personnes seniors montre une progression de 3,4% au cours des vingt dernières années. Cet accroissement est encore plus rapide depuis 2011, année durant laquelle la première génération du baby-boom (1946) atteignait les 65 ans. Cette augmentation se retrouve à l'échelle européenne où la part des seniors a progressé de 14,1% à 17,8% au 1^{er} janvier 2012.

Et ces chiffres continuent de progresser. En effet, d'après les prévisions démographiques en France, cette part de la population pourrait croître fortement jusqu'en 2035, puis de façon plus modérée jusqu'en 2060, pour progresser de 80% en atteignant plus de 30% de la population totale [Blanpain and Chardon, 2010]. Quasiment un tiers de la population aura au moins 60 ans en 2060. On retrouve les mêmes prévisions pour la plupart des pays industrialisés, notamment en Europe.

La forte croissance de la population des seniors est un marqueur sociétal positif, expression d'une longévité accrue et en meilleure santé, notamment grâce aux progrès de la médecine. Néanmoins, cette sur-représentation n'est pas sans conséquence du point de vue du système routier. Il est notamment nécessaire de veiller à la bonne intégration des seniors en tant qu'usagers de la route, que ce soit en qualité de piéton, de cycliste, mais également de conducteur. Nous nous intéresserons dans la section suivante à la question de la mobilité des seniors, et notamment leur rapport à la conduite.

3.1.2 Pratique de la conduite chez les seniors

Si l'on détaille les résultats de l'ENTD 2008 par classe d'âge, près de 80% des 65-74 ans sont titulaires d'un permis de conduire (62% pour les 75 ans et plus). On note que les hommes sont plus souvent titulaires d'un permis que les femmes (92% contre 68% chez les 65-74 ans et 88% contre 45% chez les 75 ans et plus). Mais détenir un permis est une chose, exercer son droit à la conduite en est une autre. En effet, parmi les détenteurs de permis, environ 88% des 65-74 ans déclarent pratiquer la conduite (68% des 75 ans et plus). Bien qu'il soit complexe de connaître précisément le nombre exact de seniors qui conduisent, on peut néanmoins estimer le nombre de conducteurs de 65 ans et plus à 6,9 Millions. Si l'on s'intéresse à la question du genre dans la pratique de la conduite, environ 94% des hommes de 65 à 74 ans, titulaires d'un permis, conduisent, contre un peu plus de 80% chez les femmes. Chez les 75 ans et plus, les hommes sont encore près de 78% à conduire contre 56% des femmes. Il semble donc clair que les hommes âgés conduisent plus longtemps que leurs homologues féminins, d'autant plus au-delà de 75 ans.

²www.insee.fr/RP2011/population-par-sexe-et-age

Pour une part importante de la population des séniors, le recours au véhicule personnel est privilégié aux autres modes de transports, avec plus de 60% des déplacements des 65 ans et plus, et un peu plus de 50% au-delà de 75 ans. En effet, l'utilisation de la voiture relève d'une nécessité pour garantir l'indépendance et l'autonomie dans leurs activités sociales, plus encore pour les personnes résidant dans des zones rurales. Par ailleurs, les âgés sont nombreux à considérer la possibilité de conduire comme essentielle à une bonne qualité de vie [Dickerson et al., 2007]. On constate ainsi que les séniors conservent leur permis de plus en plus longtemps [Lyman et al., 2002].

Avec un effectif en augmentation et une propension à la conduite, la classe des conducteurs séniors est celle qui croît le plus rapidement. Cependant, vieillir est synonyme d'affectation progressive des capacités humaines. Or le chapitre 1 a permis d'établir que la conduite est une activité exigeante nécessitant une grande variété de ces capacités. Dès lors, une identification des interférences qui pourraient survenir entre vieillissement et aptitudes à la conduite en sécurité est nécessaire. De plus, l'arrêt de la conduite est une étape qui n'est pas sans conséquence chez certaines personnes âgées.

3.1.3 Arrêt de la conduite chez la personne âgée

La phase ultime d'une régulation de la pratique de la conduite est l'arrêt définitif de cette pratique. Au-delà de la difficulté que peut représenter une telle décision, les conséquences ne sont pas anodines sur la vie de la personne âgée.

Cesser de conduire est souvent synonyme de perte d'indépendance, de mobilité et de liberté de façon plus globale. Cela peut également entraîner un isolement social plus important de la personne, augmentant la présence de syndrome dépressif [Marottoli et al., 1997] en impactant d'autres activités de la vie sociale, et par conséquent la qualité de vie [Marottoli et al., 2000].

L'arrêt survient en général plutôt chez les femmes que chez les hommes, souvent alors même qu'elles sont en mesure de conduire en sécurité [Siren et al., 2004]. Résultante d'une meilleure longévité, le veuvage peut imposer la nécessité de continuer ou reprendre la conduite pour les femmes âgées [Braitman and Williams, 2011].

La diversité des capacités que mobilise la conduite automobile en fait une excellent gymnastique mentale. L'hypothèse de préservation cognitive décrit la possibilité de minimiser l'efficacité des processus fondamentaux de traitement de l'information sous l'effet direct de la mise en jeu régulière et consistante de ces processus [Marquié, 1997]. Il est par ailleurs établi que la cessation de la conduite s'accompagne régulièrement d'une accélération du déclin de la santé générale des personnes [Edwards et al., 2009].

De ce point de vue, **maintenir l'auto-mobilité des séniors est un enjeu sociétal de première importance**. L'évolution démographique des séniors dans nos sociétés confère à la problématique que nous abordons une portée qui dépasse nos frontières. Les séniors sont de plus en plus nombreux et le recours au véhicule personnel est un symbole fort de l'autonomie dans la mobilité. La mobilité elle-même influence les activités de la vie courante, notamment sous l'angle social. Dès lors, l'arrêt de la conduite peut avoir des conséquences très néfastes sur la santé mentale et la qualité de vie sociale des conducteurs. Pour de nombreux séniors, conduire, c'est un peu le « trait d'union » entre la santé et la mobilité.

De plus, un séniore qui ne conduit plus peut devenir un piéton plus exposé aux dangers de la route qu'en tant qu'automobiliste. En effet, chez les piétons, 1 tué sur 2 a plus de 65 ans (et les 75 ans et plus représentent 40% des piétons tués [Le Lay et al., 2013]). Il apparaît donc clair qu'au-delà de la conduite du véhicule, c'est l'aptitude à évoluer dans le système routier qu'il faut accompagner, afin de permettre aux conducteurs séniors de rester au volant, sans représenter un risque pour lui ou pour les autres usagers.

Nous sommes au tournant de notre histoire de l'auto-mobilité, la population évolue, et demain, nous serons de plus en plus nombreux à vouloir rester au volant le plus longtemps possible. Pour cela, il faut que les conséquences du vieillissement sur la sécurité au volant soient bien connues et qu'un travail de sensibilisation soit réalisé, en complément de la démarche de conception de futurs dispositifs d'aide dans laquelle s'inscrivent nos travaux.

La problématique qui nous occupe ici est l'affaire de tous, séniors d'aujourd'hui et séniors de demain, autorités, constructeurs, équipementiers et concepteurs. L'objectif est de conjuguer les efforts et d'intégrer au mieux les séniors dans le système routier afin de leur garantir une mobilité durable, gage d'une bonne santé.

3.2 Vieillesse et conduite

Le vieillissement entraîne des modifications structurelles du corps humain, ce qui impacte les fonctions qui s'appuient sur certaines de ces structures. Pour [Queinnec et al., 1983], « *l'âge, en effet, constitue l'une des principales sources de variations structurelles ou endogènes qui modulent l'état fonctionnel de l'organisme et conditionnent sa capacité à agir et à réagir à un moment donné* ». Comme nous l'avons déjà précisé, l'avancement du processus de vieillissement est très variable d'un individu à un autre, mais aussi d'une fonction à une autre. Nous aborderons le sujet sous un angle très général en passant en revue le vieillissement physique, sensoriel et enfin cognitif. Pour chacune de ces dimensions, nous transposerons ces éléments au contexte de la conduite, en soulignant les effets liés à l'âge pouvant interférer avec les exigences de cette activité. Bien que le vieillissement soit envisagé de manière cloisonnée entre ces différentes dimensions, il est évident qu'à l'échelle de l'individu, les différentes dimensions sont intimement liées.

Dans cette section, nous présenterons d'abord les effets du vieillissement sur les capacités physiques, puis sensorielles. Les conséquences des modifications liées à l'âge et les interférences éventuelles avec les exigences de la conduite seront abordées directement au niveau de ces sous-sections. En ce qui concerne le vieillissement cognitif, de loin le plus détaillé ici, nous présenterons d'abord les modifications en lien avec le vieillissement avant de les mettre en regard avec les composantes mentales de l'activité de conduite.

3.2.1 Vieillesse des capacités physiques et conduite

Les évolutions physiques, souvent liées aux modifications structurelles prennent deux formes : une atteinte des possibilités dynamiques du corps qui sont amoindries, et la vulnérabilité de ces composantes. La première est principalement une résultante musculaire du vieillissement. La dernière est la résultante tant musculaire qu'osseuse du vieillissement.

Comme nous l'avons évoqué pour les composantes observables de l'activité, les évolutions physiques liées au processus de vieillissement sont facilement détectables chez une personne âgée. La personne elle-même se rend compte des limitations physiques et la question de la fragilisation progressive du squelette fait l'objet de campagnes publiques de prévention (contre le risque de chutes, par exemple).

3.2.1.1 Limitations physiques

Pour les muscles, c'est notamment la diminution de la densité des fibres musculaires et de la masse musculaire qui va impacter leur fonctionnement. On note par exemple que la force et l'endurance dont sont capables les personnes âgées décroissent avec l'avancée en âge. Une des conséquences directe est la réduction de la capacité de préhension ou de prise (également appelée grip). D'autre part, la flexibilité des muscles semble également atteinte. Mais ce qui est le plus marqué du point de vue de la dynamique du corps d'une personne âgée concerne la diminution nette de la vitesse d'exécution (ou vitesse motrice). Au niveau de la nuque, on note également une réduction de l'amplitude des mouvements. La dextérité est également atteinte, ce qui handicape la saisie de petits objets. Le contrôle moteur, atteint également, entraîne de l'imprécision dans l'exécution des gestes fins.

3.2.1.2 Fragilité physique

La structure osseuse subit également le vieillissement qui là aussi a pour effet une diminution de la densité osseuse et de la résistance mécanique des os. Combinés à la diminution de la tonicité musculaire, cela conduit à une plus grande fragilité physique des séniors. On évoque souvent les conséquences que peuvent avoir une simple chute sur les fractures du col du fémur, par exemple. Le tronc est particulièrement concerné par cette fragilité puisque les blessures et les fractures au niveau de la poitrine surviennent le plus souvent en cas d'accident chez les conducteurs âgés [Lyman et al., 2002].

3.2.1.3 Effets du vieillissement physique sur la conduite

Dans la mesure ou la conduite est une activité qui comporte une certaine exigence physique dans sa réalisation (utilisation des pédales et du volant), la diminution de la force et de l'endurance musculaire peut rendre la conduite pénible, voire impossible sur de longues distances. La prise d'informations est directement concernée par l'amplitude limitée des muscles de la nuque, ce qui risque de provoquer une gêne chez les séniors dans certaines configurations d'infrastructures. Cette gêne pourrait être d'importance en ce qui concerne les situations complexes ou les changements de voie [Anstey et al., 2005]. Mais ce vieillissement musculaire impactera aussi les phases qui précèdent et succèdent à la conduite. L'installation à bord du véhicule est par exemple une phase qui pourra poser des problèmes à des séniors. Une fois arrivés à destination, la sortie du véhicule sera elle aussi une phase qui pourrait s'avérer difficile. À ce niveau, nous renvoyons aux travaux menés en biomécanique et ergonomie physique (voir par exemple [Wang and Trasbot, 2011]). Les phases de transitions du lieu de départ au véhicule et du véhicule au lieu d'arrivée (et par conséquent la question de l'assistance au stationnement) font également partie de cette problématique.

Cette vulnérabilité physique accrue rend par ailleurs la conduite encore plus risquée du point de vue des conséquences d'un accident de la circulation pour un séniore. Le risque d'être blessé en cas d'accident de la circulation augmente nettement avec l'avancée en âge [McGwin et al., 2000]. Si l'on considère ce risque sur le plan létal, les conducteurs de 70 à 74 ans ont deux fois plus de risque de mourir en cas d'accident de la route comparés aux 30-59 ans. Au-delà de 80 ans, ce risque est 5 fois plus élevé [Li et al., 2003]. L'ancienneté des véhicules que possèdent certains conducteurs âgés augmenterait l'exposition au risque de blessures en cas d'accidents [Newstead et al., 2004]. Cette fragilité physique renforce l'intérêt des travaux visant à préserver les séniors des risques d'accidents dont les conséquences sont décuplées en comparaison à des populations plus jeunes. Cela concerne également les accidents les plus anodins, comme les accrochages à faible vitesse.

Au-delà de ces aspects du vieillissement physique, tous les récepteurs sensoriels sont également concernés par le vieillissement. Ceci se traduit par une atteinte des capacités sensorielles de la personne âgée.

3.2.2 Vieillesse des capacités sensorielles et conduite

En ce qui concerne les aspects sensoriels, nous proposons de distinguer les structures d'une part, et les processus ou fonctions qui sont supportés par ces structures d'autre part. Comme cela a été dit, le vieillissement impacte à la fois des structures (et donc les fonctions qui y sont associées) mais aussi des fonctions qui ne sont pas nécessairement rattachées à une structure clairement identifiée.

Les personnes qui sont concernées par les atteintes sensorielles que nous allons citer dans cette section sont en général conscientes d'une diminution de telle ou telle capacité sensorielle et le rapportent de façon fréquente et détaillée lorsqu'elles sont interrogées à ce sujet. Des campagnes de sensibilisation et de suivi de l'évolution de ces capacités sont également mises en place par le biais des médecins traitants et de recommandations d'instances en charge des questions de santé publique.

3.2.2.1 Vieillesse de la fonction visuelle

Le canal visuel est le plus sollicité dans l'activité de conduite, c'est pourquoi nous choisissons de le présenter à part des autres fonctions sensorielles. L'atteinte visuelle devient significativement plus importante en vieillissant. Par exemple, des changements des composants de l'œil provoquent une diminution de l'acuité visuelle, une augmentation de la sensibilité au contraste ainsi qu'à l'éblouissement [Haegerstrom-Portnoy et al., 1999]. Dans une étude basée sur un questionnaire impliquant 400 participants répartis en 4 groupes d'âge, les problèmes visuels des âgés sont ressentis en termes de vitesse de traitement visuel, de sensibilité à la lumière, de vision dynamique, de vision de près et de recherche visuelle [Kline et al., 1992].

Dans sa revue de la littérature sur le sujet de la perception visuelle et le vieillissement, [Marquié, 1986] constate que « *certaines phénomènes comme la plus grande persistance du stimulus chez les sujets âgés, leur plus grande susceptibilité au masquage, leur plus grande capacité à l'intégration séquentielle des formes, sont des faits bien établis* » (p.586). En conclusion générale, Marquié souligne cependant que « *la diversité des composantes qui entrent en jeu dans une fonction perceptive donnée rend possible des compensations* » (op. cit, p.599).

3.2.2.2 Vieillessement des fonctions auditive, tactile et proprioceptive

Vieillessement de la perception auditive : Le système auditif subit lui aussi une modification structurelle avec une détérioration de l'oreille interne dès 50 ans. En conséquence, la sensibilité à la fréquence et à la hauteur des sons diminue du fait de la dégradation des cils dans la cochlée. Un autre point qui a son importance concerne l'atteinte de la perception de la parole du fait de la perte de sensibilité aux fréquences hautes.

Vieillessement de la proprioception et du système vestibulaire : La dégradation de l'oreille interne impacte également le fonctionnement du système vestibulaire qui est sollicité dans l'équilibre. Le système proprioceptif quant à lui assure une bonne conscience de la position des segments de son corps dans l'espace.

Vieillessement de la perception tactile : Bien que les études sur la question soient peu nombreuses, nous souhaitons citer l'atteinte de la perception tactile dans le cadre du vieillissement. Dans la même dynamique diminutive de l'efficacité des récepteurs, l'acuité tactile spatiale diminue avec le temps [Sathian et al., 1997]. Dans cette étude, Sathian et collègues ont interrogé des participants sur l'orientation (horizontale ou verticale) de grilles présentant des sillons de plus en plus rapprochés, placés sous leurs doigts. L'expérience a démontré que la résolution tactile (seuil d'espacement des sillons à partir duquel les participants ne commettent plus d'erreurs) d'un groupe de personnes âgées était supérieur de 25% à celle d'une population plus jeune.

3.2.2.3 Effets du vieillissement sensoriel sur la conduite

Au volant, un temps de traitement visuel accru peut se montrer préjudiciable pour la prise d'informations routières, comme la lecture et la détection de panneaux, particulièrement sollicité dans des situations de navigation sur des trajets non familiers. Un des effets collatéraux de cette latence pourrait être une vitesse pratiquée inférieure à d'autres conducteurs, correspondant à une stratégie visant à se donner un peu plus de temps pour bien prendre l'information relative au suivi de direction. Pour ce qui concerne la vision dynamique, les situations impliquant un diagnostic quant à un créneau pour traverser un flux de véhicules dans un tourne-à-gauche pourrait poser des difficultés à certains séniors. L'étendue du champ visuel a été identifiée comme significative en terme d'impact sur la conduite [Johnson and Keltner, 1983]. Enfin, la problématique de sensibilité au contraste et à l'éblouissement rendront quant à eux la conduite de nuit très exigeante voire potentiellement impossible.

Le canal visuel étant largement majoritaire en conduite, l'acuité visuelle fait l'objet d'un seuil minimal que doit satisfaire tout conducteur. Mais le déclin des autres canaux sensoriels est à considérer également, surtout en ce qui concerne l'interface et les modalités d'interactions qui seront conçues pour des futurs systèmes d'aides à destination des conducteurs séniors.

3.2.3 Vieillessement des capacités cognitives et conduite

Les résultats des sciences de la cognition s'accordent pour établir un lien entre le vieillissement et une modification du fonctionnement cognitif, qui semblerait être orienté vers le déclin [Van der Linden and Hupet, 1994]. Cette baisse de la performance cognitive est fréquemment imputée à l'altération de la vitesse de traitement, l'atteinte de la mémoire de travail et de la capacité d'inhibition qui permet de résister aux interférences [Van der Linden et al., 1999].

Des lors que l'on glisse du côté des atteintes cognitives en lien avec le vieillissement, il est bien plus complexe de détecter une atteinte de telle ou telle fonction dans cette face immergée de l'iceberg de l'activité humaine. De plus, il est beaucoup plus fréquent que les personnes elles-mêmes ne soient pas conscientes d'un affaiblissement de certaines capacités. Néanmoins, la littérature indique clairement que c'est à ce niveau que les conséquences en matière de conduite automobile peuvent être les plus importantes [Lallemant et al., 2013].

3.2.3.1 Généralités sur le vieillissement cognitif

Ska et Joannette dressent une synthèse bien détaillée de l'impact du vieillissement normal sur la cognition [Ska and Joannette, 2006]. Elles débutent leur article en rappelant que les personnes âgées sont souvent comparées à des populations plus jeunes afin de mesurer leur performance. Les résultats montrent une performance inférieure dans les tâches qui impliquent la mémoire, l'attention, les capacités visuo-spatiales, le langage où les fonctions exécutives. Ces effets du vieillissement cognitif sont là encore la résultante de modifications au niveau du système nerveux dans son intégralité. Sur le plan neuroanatomique (la structure), la masse du cerveau diminue. Sur le plan neurophysiologique et neurochimique (l'efficacité du réseau), le nombre et la taille des neurones ainsi que l'efficacité synaptique diminuent et les neurotransmetteurs voient leur concentration diminuer [Raz, 2000].

Au-delà de cette atteinte de la performance dans la réalisation de tâches variées, la production d'erreurs est également plus fréquente. Les auteurs précisent que d'autres études se sont intéressées à comparer les personnes âgées entre elles et concluent à une grande variabilité en terme d'évolution temporelle des habiletés cognitives. Par exemple, certains individus vont conserver un niveau d'efficacité élevé pendant longtemps, là où d'autres rencontreront des modifications plus tôt [Ylikoski et al., 1999]. De plus, lorsque ces modifications apparaissent, elles prennent des formes différentes d'une personne à une autre [Valdois et al., 1990].

3.2.3.2 Vieillesse, attention et fonctions exécutives

De nombreux aspects de l'attention semblent être particulièrement affectés par le vieillissement [Anstey et al., 2005]. Cela inclut l'attention sélective, l'attention divisée (ex. [Verhaeghen and Cerella, 2002]) et la vigilance (i.e. l'attention soutenue).

Les déficits exécutifs apparaissent prépondérants avec l'avancée en âge [West, 2000]. Comme le décrivent [Collette and Salmon, 2014], les fonctions exécutives sont des processus cognitifs de haut-niveau qui interviennent dans les tâches où des processus contrôlés sont impliqués. Elles peuvent être définies comme des mécanismes de contrôle qui « regroupent un grand nombre de processus distincts tels que l'initiation de comportements, la planification de l'action, la génération d'hypothèses, l'inhibition de réponses pré-dominantes, la flexibilité cognitive, le jugement et la prise de décision, l'exploitation de feedbacks, etc. » (p.42).

Miyake et collègues ont identifié 3 fonctions exécutives principales : Shifting, Updating, Inhibition [Miyake et al., 2000]. Le *shifting* ou *réorientation de l'attention* renvoie à la capacité à déplacer son attention d'un élément à un autre (ce qui correspond à une flexibilité mentale pour passer d'une tâche à une autre ou d'un état mental à un autre). L'*updating* ou *mise à jour* de la représentation correspond à la supervision en continu de l'environnement en vue de maintenir les éléments contenus en mémoire de travail en accord avec la situation (en ajoutant ou supprimant

rapidement des éléments). L'*inhibition* s'entend comme la capacité qui permet de résister à une réponse automatique ou prépotente dans une situation donnée, mais qui s'avère inadaptée dans le contexte du moment.

Les fonctions exécutives sont également mises en œuvre dans l'intégration d'informations et la planification d'une réponse [Anstey et al., 2005]. Elles font référence à la capacité à répondre à une situation nouvelle par l'adaptation et incluent la volonté, la planification, l'anticipation et la performance effective [Lezak, 2004]. Une atteinte des fonctions exécutives peut aussi se manifester cliniquement par une modification de la personnalité, une diminution du contrôle de l'impulsivité, une flexibilité diminuée et une atteinte de la perspicacité.

D'autres travaux expliquent l'altération des capacités attentionnelles chez les seniors comme un conséquence de la réduction des ressources cognitives sous l'effet de l'âge (pour une revue de la littérature, voir [Gély-Nargeot et al., 2000]). Avec moins de ressources attentionnelles disponibles, les âgés éprouveraient plus de difficultés dès lors que le traitement de l'information requiert des processus contrôlés, notamment lorsque ces processus sont sollicités pour la recherche active et sélective d'informations, lors de la planification d'actions complexes, ou de la mise en œuvre de décisions ou de stratégies volontaires. Ces ressources de traitement plus limitées expliqueraient aussi les difficultés rencontrées par les seniors pour la gestion simultanée des opérations mentales, l'encodage des informations à mémoriser, et pour leur récupération en mémoire. C'est pourquoi certains auteurs n'hésitent pas à considérer que cette altération des ressources cognitives serait à l'origine des principaux dysfonctionnements des fonctions mnésiques [Salthouse, 1990, Craik and Byrd, 1982].

3.2.3.3 Vieillesse et mémoire

Comme le soulignent [Gély-Nargeot et al., 2000], de la « *foison des études portant sur le vieillissement cognitif, se dégage un large consensus en faveur d'un effet délétère de l'âge sur la performance des fonctions cognitives [...], la mémoire étant la composante la plus vulnérable, et sa performance déclinerait dès la cinquième décennie* » (p.849). Toutefois, les capacités mnésiques du système cognitif humain sont multifformes, et les effets de l'âge peuvent être très variables selon la nature des processus impliqués et des fonctions mnésiques considérées.

Du point de vue du « *vécu* » des sujets, les dysfonctionnements de la mémoire épisodique [Tulving, 1984] sont parmi les premiers ressentis, dans la mesure où ils affectent les capacités de rétention et d'activation de faits de la vie quotidienne (comme ne plus se souvenir d'un événement biographique récent, par exemple, ou l'oubli de l'endroit où l'on a déposé ses clés de voiture). Cependant, si des déficits liés à l'âge de la mémoire épisodique ont bien été mis en avant dans la littérature (pour revue de la question voir [Isingrini and Tacconnat, 1997]), l'altération de cette composante résulterait plus de modifications fonctionnelles portant sur les processus d'encodage et de recouvrement de l'information en mémoire à long terme que d'une atteinte du système épisodique en lui-même. Du point de vue de la conduite automobile, une mémoire épisodique moins performante semble a priori peu préjudiciable dans le cadre de déplacements dans un environnement familier, mais cela pourrait impacter négativement les capacités de mémorisation de nouveaux itinéraires, par exemple.

Pour ce qui est de la mémoire sémantique, elle semble peu affectée par le vieillissement normal [Verhaeghen, 2003, Burke and Peters, 1986]. Toutefois, si l'organisation et la manipulation

de concepts ne semblent pas altérées par l'âge, des difficultés peuvent néanmoins apparaître au niveau des processus d'encodage sémantique, du fait d'un amoindrissement des ressources attentionnelles rendant alors la trace mnésique plus labile [Craik and Byrd, 1982].

Les travaux concernant la mémoire procédurale ont donné lieu à des résultats discordants sur les effets de l'âge [Gély-Nargeot et al., 2000]. Si les capacités d'apprentissage peuvent décliner avec le vieillissement et être moins performantes chez les sujets âgés que chez les plus jeunes, les savoir-faire bien maîtrisés semblent néanmoins bien résister au temps, et les sujets âgés peuvent également développer de nouvelles habiletés grâce à l'entraînement [Howard and Howard, 1989].

Comparativement aux autres fonctions mnésiques, la Mémoire de Travail est sans conteste la plus sensible aux effets du vieillissement. La littérature nous apprend que les capacités de la MDT sont atteintes avant les autres systèmes de mémoire [Craik, 1986]. Pour certains auteurs [Salthouse and Babcock, 1991], l'effet de l'âge réduirait significativement les capacités de stockage de cette structure mnésique. Pour d'autres auteurs, l'âge affecterait davantage les capacités de gestion et d'allocation des ressources attentionnelles imparties aux opérations de stockage et de traitement de l'information [Van der Linden et al., 1994]. Mais cette altération pourrait aussi être une conséquence indirecte de difficultés au niveau des processus d'activation des connaissances en mémoire à long terme [Poirier and Saint-Aubin, 1995]. Si l'origine des troubles peut faire débat, il n'en demeure pas moins que le déclin des capacités de la Mémoire de Travail dû à l'âge est avéré, et qu'il n'est pas sans incidence sur les activités de la vie quotidienne en générale, et sur les capacités de conduite, en particulier.

3.2.3.4 Effets du vieillissement cognitif sur la conduite

Compte tenu du rôle central de la Mémoire de Travail dans les processus de compréhension de la situation, de prise de décision, d'anticipation, de planification et de supervision de l'activité, c'est principalement sous cet angle du déclin des capacités de la MDT et des processus cognitifs qui lui sont associés, que les effets du vieillissement sur la conduite automobile nous semblent être les plus préjudiciables.

En effet, les résultats de [Plude et al., 1996] montrent l'impact négatif du vieillissement sur l'efficacité des individus à extraire l'information pertinente de l'environnement et à la stocker en mémoire. Ainsi, pour [Bolstad, 2000] les conducteurs âgés élaboreraient des représentations mentales de leur environnement moins complètes et/ou de qualité moindre en comparaison à des jeunes adultes. Plus précisément, c'est probablement le niveau 1 de la Situation Awareness (le prélèvement d'information dans l'environnement d'après la définition de [Endsley, 1995]) qui serait le plus impacté chez les conducteurs âgés. Ces effets du vieillissement seraient d'autant plus importants que la tâche dans laquelle les conducteurs sont impliqués est complexe. Mais [Bailly, 2004] précise que par effet de ricochet, les deux autres niveaux de CS (c'est-à-dire la compréhension de la situation et l'anticipation de ses états futurs) seraient aussi altérés par les effets du vieillissement cognitif. D'autres résultats de Bolstad soulignent également que la compensation de performances grâce à l'expérience, semble avoir des limites. En effet, au-delà d'un certain seuil de complexité de la tâche, l'expérience ne suffit plus à compenser en totalité le niveau de performance plus faible. L'élaboration de la conscience de la situation serait donc mise en péril par la diminution des ressources cognitives, le ralentissement de la vitesse de traitement et les diminutions des capacités d'inhibition des âgés. Cependant les auteurs soulignent que

l'expérience des âgés peut les aider à modérer ces effets négatifs. Ils soulignent également le gain possible via l'entraînement à des activités spécifiques.

Les travaux de [Bailly et al., 2003, Bailly, 2004] se sont intéressés à la conscience de la situation des conducteurs automobiles, auprès de groupes de conducteurs novices, expérimentés jeunes (groupe de référence), âgés (dits « témoins ») et âgés multi-accidentés. Le protocole expérimental mis en place repose sur la diffusion de séquences vidéos de conduite qui sont filmées du point de vue du conducteur. Chaque séquence est interrompue de façon inattendue. Un masque est diffusé et la dernière image de la séquence, ayant fait l'objet d'une modification, est alors présentée au participant. Ce dernier doit répondre si la scène a été modifiée ou non. Les modifications concernent l'ajout ou la suppression d'un objet de type *évènement* (un piéton ou un autre véhicule) ou un objet en lien avec la *signalisation*. Le paradigme de la double-tâche est également utilisé dans ce protocole. Parmi les résultats, les scores de détection sont significativement plus faibles pour tous les groupes de participants, ce qui atteste que la construction d'une représentation mentale d'une situation de conduite requiert des ressources cognitives.

Concernant les conducteurs âgés multi-accidentés, les résultats généraux confirment que ces conducteurs ont, de manière significative, une moins bonne conscience de la situation que les 3 autres groupes (y compris les conducteurs âgés-témoins), ce qui semble attester d'un lien étroit entre l'aptitude à se représenter mentalement la situation et le risque d'avoir un accident. Concernant les conducteurs âgés témoins, leurs scores de détection sont significativement plus faibles que ceux du groupe de référence, quel que soit le type d'objet modifié. Néanmoins, Bailly note une performance meilleure concernant la détection de type évènement comparé aux modifications apportées à l'infrastructure (type signalisation). De plus, les scores obtenus par ces conducteurs âgés indiquent une moindre dégradation de la performance en double tâche, comparativement aux conducteurs plus jeunes. Ce résultat indique que les processus mis en œuvre pour l'élaboration des représentations mentales en conduite sont plus automatisés chez ce groupe de conducteurs que chez les plus jeunes (puisque moins affectés par l'allocation de ressources cognitives à la double-tâche). Toutefois, comme le précise Bailly, si cette automatisation des processus issue de l'expérience pratique accumulée durant leur vie de conducteur permet aux âgés (témoins) de maintenir une conscience de la situation acceptable (surtout comparativement aux âgés multi-accidentés), elles ne permettent cependant pas de compenser pleinement les effets négatifs liés au vieillissement en situation de simple tâche.

D'autres auteurs parlent de déclin des « *composantes fluides de l'intelligence*³ » (fonctions exécutives, mémoire de travail et attention) avec l'avancée en âge [Cattell, 1967, Salthouse and Davis, 2006]. Cela semblerait impliquer une plus grande difficulté pour les conducteurs âgés à faire face à une situation inconnue. Dans les situations complexes notamment, la résolution de problème pour la prise de décision peut s'avérer plus longue, voire sujette à un mauvais diagnostic.

Néanmoins, ce qu'il faut retenir c'est avant tout que c'est l'ensemble des atteintes liées au vieillissement qui vont engendrer une atteinte de la conduite automobile. En effet, le vieillissement cognitif, en soi, surtout avant 80 ans, n'est pas suffisant pour expliquer une conduite non sécuritaire [Evans, 2000].

³que Cattell distingue des *composantes cristallisées* de l'intelligence qui sont mobilisées dans la résolution de tâches à partir de connaissances antérieures et de l'expérience.

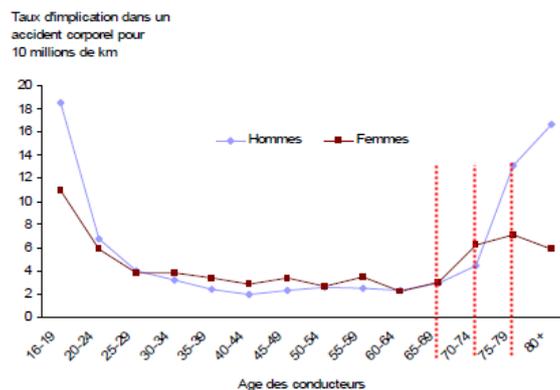
Nous venons de passer en revue diverses modifications structurelles et fonctionnelles liées au vieillissement interrogeant l'impact potentiel de ces modifications sur la sécurité de la conduite automobile. La section suivante vise précisément à explorer cette question.

3.3 Conducteurs seniors et sécurité routière

Depuis plusieurs années, les initiatives de recherche en lien avec la conduite automobile telle qu'elle est pratiquée par les conducteurs seniors sont de plus en plus nombreuses. S'il est clair que la difficulté inhérente à la conduite est amplifiée par les dégradations fonctionnelles liées au vieillissement, qu'en est-il de son caractère risqué ? Pour tenter de répondre à cette interrogation, il s'agira dans un premier temps de regarder du côté des données d'accidentologie.

3.3.1 Le facteur âge dans les accidents de la route

Le dénombrement des accidents de la route distingue les accidents corporels (comprenant au moins un blessé) des accidents mortels (comprenant au moins un décès). Nous souhaitons présenter la courbe en « U » que l'on retrouve fréquemment dans la littérature (figure 17), avec des données d'accidents corporels pour la France en haut (figure 17(a)) et des données d'accidents mortels pour les Etats-Unis en bas (figure 17(b)).



(a) Accidents corporels pour l'année 1994 en France, adapté de [Lafont, 2008]



(b) Accidents mortels sur la période 2001-2002 aux USA, adapté de [Hulme and Thorpe, 2013]

FIGURE 17 – Taux d'accidents normalisés par distance parcourue, en fonction de l'âge

On peut lire ces courbes en lien avec le cursus d'un conducteur lambda. Tout d'abord, on retrouve la population sur laquelle se concentre une grande partie des efforts en matière de sécurité routière : les jeunes de 18 à 24 ans. Par la suite, on constate une longue plage de temps pour laquelle il ne semble pas y avoir de différence nette entre les différents âges, de 25 à 69 ans. Au-delà, la pente de la courbe s'accroît à nouveau de façon assez stable de 70 à 79 ans, puis plus encore au-delà de 80 ans. Il semblerait donc que plus l'âge est élevé, plus le risque d'être impliqué dans un accident (corporel ou mortel) augmente. Notons également sur la figure 17(a), les accidents corporels semblent nettement plus nombreux pour les hommes que pour les femmes au-delà de 75 ans. Une cessation de la conduite plus tôt chez les femmes pourrait être un des facteurs explicatifs.

Nous ne nous risquons pas à quelque extrapolation au-delà de l'intérêt de se positionner dans une démarche d'aide à la conduite, d'autant plus que l'âge des conducteurs avance⁴. Néanmoins, ces deux courbes nous permettent d'introduire une distinction que l'on retrouve également fréquemment dans la littérature concernant les séniors : les âgés-jeunes (ou *young-old*) qui concernent en général les individus de 65 à 74 ans, et les âgés-âgés (ou *old-old*) pour les 75-80 ans et plus. Une fois de plus, le seuil attribué à ces catégories varie en fonction des domaines dans lesquels on trouve cette sous-catégorisation. En matière d'accidentologie, la catégorie des 75 ans et plus est par exemple isolée, au même titre que les 18-24 ans (exemple dans [ONISR, 2013b]).

En France, l'Observatoire Interministériel de la Sécurité Routière (ONISR) œuvre notamment pour la tenue d'un fichier national des accidents corporels de la circulation sur la France métropolitaine. Ce fichier est constitué par les Bulletins d'Analyse des Accidents Corporels (BAAC) qui sont établis par les forces de l'ordre. De plus, le recensement via les services hospitaliers des victimes d'accidents de la route du département du Rhône (Registre du Rhône) complète ces données. Les bilans annuels ou thématiques qui sont réalisés à partir de ces corpus de données d'accidents permettent d'obtenir des informations très intéressantes. Nous nous intéressons ici aux données en lien avec la personne âgée en tant qu'usager de la route en général.

3.3.2 Données d'accidentologie routière des séniors

Dans le bilan de l'accidentalité routière de l'année 2012, on apprend que les 65 ans et plus représentent environ 20% des tués (et 13% des blessés) dans des accidents de la circulation en métropole [ONISR, 2013c]. Les chiffres sont d'autant plus critiques pour les 75 ans et plus avec 481 tués soit 13% des décès toutes classes d'âges confondues (pour les 65-74 ans, ce sont 264 personnes tuées soit 7% du total). On retrouve le risque accru de décès en cas d'accident avec l'avancée de l'âge, avec 38 hospitalisés pour 10 tués chez les âgés-âgés (respectivement 61 hospitalisés pour 10 tués chez les âgés-jeunes⁵).

Si l'on s'intéresse à la mortalité routière des 75 ans et plus, on dénombre 84 personnes tuées par million d'habitants (contre 51 les 65-74 ans, et 58 pour l'ensemble de la population). Ainsi, les 75 ans et plus constituent la deuxième population la plus touchée par la mortalité routière derrière les 18-24 ans [ONISR, 2013b].

⁴ voir par exemple [Langford et al., 2006] pour une description du *low mileage bias* - « biais de faible kilométrage annuel ».

⁵ Données du Registre du Rhône

3.3. Conducteurs séniors et sécurité routière

Les 65 ans et plus comptent pour 45% des tués en tant que piétons ou 2-roues, là où les moins de 24 ans représentent 21% de l'ensemble des tués de cette catégorie. Là encore, ce pourcentage augmente nettement pour les plus de 75 ans. En effet, parmi les 481 âgés-âgés tués dans un accident de la route en 2012, 41% l'ont été en tant que piétons, 40% en tant que conducteurs et 19% en tant que passagers.

La responsabilité présumée dans la survenue des accidents mortels impliquant un véhicule de tourisme est un indicateur intéressant. En effet, les 75 ans et plus sont présumés responsables dans 73,4% des accidents mortels [ONISR, 2013a] (p.60). Ce taux est légèrement supérieur mais reste comparable à celui des 18-24 ans. Pour comparaison, toutes les autres classes d'âges se situent aux environs de 50%.

Néanmoins, les facteurs comportementaux à risques sont nettement moins présents chez les séniors que chez les 18-24 ans. Par exemple, la présence d'alcool dans le sang en cas d'accidents [ONISR, 2013a] (p.61). Parmi les condamnations pour conduite sans permis, les personnes de 60 ans et plus ne représentent que 1,8%, et 3,6% pour la conduite malgré la suspension de ce dernier. Pour les condamnations pour conduite en état alcoolique, les 60 ans et plus comptent pour 5,8%, loin derrière les autres classes d'âge (op. cit.).

L'importance du nombre d'accidents corporels malgré l'absence de comportements potentiellement dangereux semblent attester que les exigences de la conduite peuvent parfois dépasser les capacités des séniors, dans certaines circonstances. Dans une étude récente portant sur 197 accidents impliquant des séniors en Suède entre 2002 et 2004, [Skyving et al., 2009] soulignent que les conducteurs âgés ne peuvent pas être considérés comme un groupe de population réticent à adopter des comportements sécuritaires. Ces résultats sont en accord avec ceux de Reason qui indique que si le taux d'erreurs demeure plus ou moins stable au cours de l'existence, les violations tendent à diminuer avec l'avancée en âge [Reason, 1993], [Van Elslande, 2003].

Si l'on rapproche la responsabilité présumée en cas d'accident et la faible propension aux pratiques à risques des séniors au volant, cela semble indiquer que certains d'entre eux rencontrent de réelles difficultés. Dans les situations les plus inconfortables, la production d'erreurs de conduite en nombre non négligeable pourrait engendrer des accidents. Afin de clarifier ces points, il semble pertinent de s'intéresser aux types d'accidents dans lesquels sont plus fréquemment impliqués les séniors, et aux contextes dans lesquels ils surviennent.

Un grand nombre de recherches s'intéressent également à la question du vieillissement dans le cadre de la conduite automobile, dont des synthèses peuvent être trouvées dans [Chin et al., 2013], [Davidse, 2007], [Lallemant et al., 2013]. Pour la plupart d'entre elles, les données de base proviennent d'études de statistiques d'accidents, d'enquêtes et questionnaires voire d'entretiens ou d'expérimentations sur simulateur de conduite.

Pour mieux appréhender les problèmes rencontrés par les conducteurs âgés, on peut se poser deux questions simples mais riches d'enseignements : quelles sont les erreurs les plus fréquemment constatées ? Dans quels contextes se manifestent-elles ? Pour répondre à ces deux questions, nous choisissons de lister les situations à risque dans un premier temps pour revenir sur des facteurs explicatifs dans un second temps.

3.3.3 Contextes à risque pour les conducteurs séniors

Les accidents dans lesquels les conducteurs âgés sont impliqués sont souvent des situations de conduite complexes [McGwin and Brown, 1999]. Le bilan 2013 des accidents de la route en France indique qu'un scénario-type d'accident mortel est un conducteur sénior en attente à une intersection (en général à un stop), sur une voie secondaire, hors agglomération et qui s'engage sur la route principale en appréciant mal la vitesse d'approche des autres véhicules [ONISR, 2013b].

Dans [Lallemant et al., 2013], les auteurs confirment que la majeure partie des accidents survient en intersection, le plus souvent lorsque le conducteur doit traverser l'intersection pour aller tout droit. Juste après la traversée, c'est la manœuvre de tourne-à-gauche (TaG) qui est la plus représentée. Dans l'exécution de cette manœuvre, le problème provient souvent d'une mauvaise compréhension des règles de priorité (la priorité à droite notamment). Une autre étude a montré que le fait d'avoir un véhicule en attente derrière soi, lors d'un TaG provoque des acceptations de gaps plus courts (et donc moins sécuritaires) chez les plus âgés [Chen et al., 2013].

D'autres résultats récents ont précisé que les intersections pour lesquelles la circulation est rapide sont également répertoriées dans les accidents impliquant des conducteurs séniors, du fait d'une vitesse pratiquée inadéquatement basse [Skyving et al., 2009]. Cette étude porte sur l'analyse de 197 accidents impliquant des conducteurs de 65 ans et plus en Suède entre 2002 et 2004, ayant entraîné la mort du conducteur âgé ou d'un autre usager de la route. Les auteurs regroupent en 4 classes les accidents que nous présenterons par taux de mortalité décroissant. Les accidents les plus meurtriers sont des chocs frontaux où l'accident n'implique aucun autre véhicule, en milieu péri-urbain, limité à 70 km/h ou plus. Au second rang des accidents mortels, on trouve des chocs à vitesse relativement basse, en intersections et notamment en manœuvres de TaG, en général avec des conducteurs de 75 à 79 ans. À la troisième place, on trouve des conducteurs âgés-âgés (80-84 ans et 85 ans et plus) qui conduisent des véhicules assez anciens. Enfin, les chocs arrières et les chocs à grande vitesse, hors manœuvres de TaG sont fréquents, surtout pour les 65-69 ans. Pour la première et la troisième catégorie, la responsabilité du conducteur sénior est très fréquemment supposée dans la survenue de l'accident. Un dernier résultat intéressant est que dans les accidents impliquant un décès autre que le conducteur sénior, 11 cas sur les 29 répertoriés concernent des motards.

Pour éclairer le sujet des conditions et des circonstances qui posent les difficultés les plus marquantes aux séniors, Mayhew et collaborateurs ont proposé une synthèse des recherches publiées aux USA et au Canada depuis les années 1990 [Mayhew et al., 2006]. En termes de conditions environnementales, les accidents impliquant des conducteurs séniors semblent survenir dans des configurations plutôt favorables : avec une météo clémente et sur chaussée sèche. Là encore, l'erreur la plus fréquente concerne le refus de priorité. La responsabilité est également plus importante dans le cas des conducteurs séniors en comparaison aux autres catégories de conducteurs. Concernant les caractéristiques des chocs : les séniors sont surreprésentés dans les chocs lors de dépassements, en insertions ou les chocs latéraux (particulièrement en intersections). Concernant l'autoroute, il ne semble pas y avoir de sur-représentation (sachant qu'ils ont probablement une logique d'évitement concernant les autoroutes). Les auteurs rentrent également en détails pour les chocs en intersection : les séniors ont des chocs latéraux dans 1 cas sur 2 (1 cas sur 4 chez les conducteurs plus jeunes).

Les séniors ont 2 à 3 fois plus de risque d'être impliqués dans un choc alors qu'ils tournent que les conducteurs plus jeunes. Les auteurs précisent que plusieurs études ont montré que les séniors ont de réelles difficultés avec le gap-acceptance. Les facteurs qui influenceraient ces difficultés seraient la distance limite de vision, la densité du trafic, la vitesse élevée du flux de circulation ainsi que les infrastructures multi-voies. Bien qu'ils soient moins sujets aux chocs arrières en intersections que les conducteurs plus jeunes, les séniors sont plus souvent les percutés que les percutés.

3.3.4 Dysfonctionnements et erreurs de conduite chez les séniors

Identifier les contextes de conduite qui posent des difficultés aux conducteurs âgés est donc très intéressant pour notre étude mais nous cherchons également à identifier pourquoi ces situations sont plus risquées pour les conducteurs âgés. Il faut donc s'interroger sur les erreurs qui sont commises par cette catégorie de conducteurs afin de mieux cerner leurs difficultés (que l'on a par ailleurs contextualisé) afin d'espérer identifier des solutions adaptées à leurs besoins. Dans un premier temps, nous nous référerons aux résultats globaux obtenus dans le cadre des EDA réalisées à l'IFSTTAR.

3.3.4.1 Résultats en provenance des Études Détaillées d'Accidents

L'approche très factuelle des études détaillées d'accidents (EDA) dont nous avons parlé plus tôt peuvent nous apporter des connaissances concernant les erreurs des conducteurs âgés [Van Elslande, 2003]. Dans cet article, Van Elslande propose une analyse comparative des mécanismes d'accidents de la route impliquant 57 conducteurs âgés de 60 ans et plus en comparaison à 335 conducteurs plus jeunes. À un niveau très général, les résultats confirment que le franchissement d'intersections est plus représenté chez la population âgée. En ce qui concerne les défaillances fonctionnelles les plus impliquées, l'auteur identifie les catégories Perception et Diagnostic. Pour la première, il pointe notamment la *focalisation sur un problème directionnel* qui entraîne une négligence dans la prise d'autres informations dans la phase de conduite. Dans les situations où l'infrastructure est complexe et l'intensité du trafic importante, les stratégies visuelles peuvent s'avérer inadaptées aux exigences de la tâche de conduite. Pour les défaillances de type diagnostic, il apparaît que l'interception d'un créneau d'insertion dans le trafic soit la plus problématique. Cela pourrait s'expliquer soit par une forme de précipitation due à la difficulté d'obtention d'un créneau, par un sentiment d'inconfort ou encore un ressenti de gêne pour autrui, vis-à-vis des véhicules en attente derrière soi. Une réalisation de type routinière de manière inadaptée aux exigences d'une situation peut également être à l'origine de l'accident. Dans d'autres situations, une mauvaise interprétation du fonctionnement d'un site routier engendre également des défaillances de diagnostic. L'auteur invoque à ce niveau « *une certaine forme de rigidité dans l'analyse que les conducteurs opèrent sur les aménagements* » (op. cit., p.195). Mais au-delà de ces deux catégories, l'auteur précise que c'est dans la catégorie des *défaillances généralisées* que les conducteurs plus âgés se démarquent le plus du groupe plus jeune. Ces défaillances se manifestent par une désorganisation générale de l'activité de conduite à partir d'un instant où une difficulté est rencontrée sur un trajet. Cette désorganisation peut entraîner des comportements hésitants, voire la réalisation de manœuvres inattendues ou aberrantes au regard d'autrui, qui semblent être d'autant plus présents que les conducteurs sont âgés.

3.3.4.2 Facteurs explicatifs des accidents en intersections

Comme en attestent les résultats présentés précédemment, la traversée d'intersection semble être une situation dans laquelle les conducteurs seniors commettent des erreurs. Deux études, l'une américaine et l'autre anglaise s'intéressent particulièrement aux facteurs explicatifs des accidents des seniors en intersection. Dans la mesure où la situation de franchissement d'intersection fait appel à des capacités variées, l'éclairage de ces travaux est d'intérêt pour nous.

Aux États-Unis, Braitman et collègues se sont intéressés à la sur-représentation des seniors dans les accidents survenant en intersection [Braitman et al., 2007]. Leur étude, portait sur la comparaison de deux groupes de conducteurs âgés de 70 à 79 ans et de 80 ans ou plus, avec un groupe de référence de 33 à 54 ans. Tous les conducteurs inclus dans cette étude ont déjà été impliqués dans des accidents matériels en intersection. La méthode repose sur la consultation des rapports de police complétée par un entretien avec les conducteurs. Parmi les résultats, le nombre de chocs, du fait d'un non-respect de priorité, semble augmenter avec l'âge et se produire principalement à des intersections contrôlées par un panneau stop, généralement lors de manœuvres de TaG. Les raisons de ces erreurs semblent varier en fonction de l'âge. Les 70 - 79 ans semblent plus concernés par de mauvaises évaluations du temps disponible pour s'engager en ayant détecté un véhicule (*gap acceptance*), que les deux autres groupes. Pour les 80 ans et plus, le problème est différent puisque le plus souvent, c'est la détection de l'arrivée d'un véhicule qui échoue. Enfin, pour les deux groupes d'âgés, le positionnement, dès l'entrée de l'intersection n'est pas toujours très bon.

Dans une étude réalisée au Royaume-Uni, des rapports d'accidents impliquant des conducteurs de 60 ans et plus dans des collisions en intersection (dont 74% d'hommes) ont été analysés [Clarke et al., 2010]. Les auteurs passent en revue les facteurs explicatifs les plus rapportés dans la littérature en ce qui concerne les accidents en intersection :

- **Problèmes en lien avec le partage d'attention** (d'après [Hakamies-Blomqvist et al., 2004]) : le report de la difficulté à filtrer les stimuli non pertinents à la tâche de conduite en cours, la focalisation de l'attention sur un véhicule ou un piéton qui entraîne une négligence d'un autre objet de la scène routière, avec lequel un conflit de trajectoire est plus probable.
- **Problèmes en lien avec des stratégies visuelles** (d'après [Bao and Boyle, 2009]) : plus faible proportion d'exploration visuelle à gauche et à droite lors de la négociation d'intersections, exploration visuelle dans la mauvaise direction, incapacité à orienter l'exploration visuelle dans la bonne direction.
- **Faible sensibilité au contraste** (d'après [Horswill et al., 2008]) : difficulté à détecter des conflits de trajectoires avec d'autres véhicules, conduite rendue difficile dans des conditions de visibilité réduite (ex. la nuit, entre chien et loup, en présence de brouillard ou par temps de pluie).
- **Mauvaise appréciation de la vitesse d'un véhicule approchant à contresens** (d'après [Spek et al., 2006]) : mauvaise appréciation de la vitesse, sélection de créneau d'insertion risqué.
- **Lenteur dans la réalisation de la manœuvre de traversée de flux** une fois la décision de s'engager prise : temps supérieur constaté pour accélérer et tourner le volant.
- Accélération soudaine liée à la **confusion de pédales** (d'après [Freund et al., 2008]).

Cette catégorie s'applique principalement pour des véhicules à transmission automatique, mais la tendance montrant des ventes de boîtes de vitesses manuelles en forte baisse pourrait amener à considérer ce problème en France⁶

Forts de cette revue de la littérature, Clarke et collaborateurs ont procédé à une analyse détaillée de 2007 accidents au Royaume-Uni. Ces accidents concernent soit un véhicule conduit par un conducteur âgé qui entre en contact avec un élément de l'infrastructure, soit un accident impliquant plusieurs véhicules. La méthode consiste à décrire le plus précisément les accidents (lieu, moment, type d'intersection, schéma décrivant les circonstances) en intégrant le point de vue du conducteur âgé consigné dans le rapport de police (pour retracer la séquence qui a conduit à l'accident tel qu'il a été vécu du point de vue de ce dernier). Les cas sont ensuite codés en termes de responsabilité du conducteur âgé (totale, partielle ou nulle), et du facteur explicatif principal (d'après la liste citée ci-avant).

Parmi les scénarios d'accidents les plus représentés, les cas de non-respect des règles de priorité représentent 38% du panel considéré, et 48% des cas pour lesquels le conducteur âgé est au moins partiellement responsable. Si l'on isole les manœuvres de tourne-à-droite (équivalent à un tourne-à-gauche pour les pays où l'on circule à droite comme en France), la responsabilité au moins partielle du conducteur âgé est établie dans 64% des accidents.

En regard des facteurs explicatifs identifiés dans la littérature, les problèmes de stratégie de recherche visuelle sont identifiés dans 53,5% des cas. La mauvaise appréciation de la vitesse d'approche du véhicule arrivant à contresens est elle présente dans 20,5% des cas. Un problème lié à une attention partagée est identifié pour 9,4% des cas. Bien que les accidents impliquant des *accélération soudaines* ne soient que peu nombreux dans l'échantillon (4%), ils semblent néanmoins être spécifiques aux conducteurs âgés, et plus nombreux pour les plus âgés d'entre eux. Les auteurs évoquent également un état de fatigue comme facteur contributif dans l'accident dans 4% de l'échantillon considéré. Rapproché à la question sur la responsabilité, les conducteurs âgés au moins partiellement responsables apparaissent comme 5 fois plus sujets à un accident lié à la fatigue que ceux qui ne sont pas responsables. Ces derniers éléments soulignent l'importance de considérer l'*état du conducteur*, dans la conception de futurs systèmes d'aides qui leur seraient destinés. Nous reviendrons plus en détails sur cette notion d'état du conducteur dans une acception large au chapitre suivant.

3.3.4.3 Vision d'ensemble des erreurs de conduite des conducteurs âgés

Dans [Vlahodimitrakou et al., 2013], les auteurs présentent une synthèse des problèmes auxquels sont confrontés les conducteurs âgés. Ils comprennent (i) le prélèvement d'informations dans l'environnement routier pour maintenir une conscience de la situation à jour, (ii) le signalement approprié de ses intentions aux autres usagers, (iii) la régulation de sa vitesse en fonction du maximum autorisé sur un tronçon mais aussi des conditions et du contexte de circulation, (iv) le choix d'un intervalle sécuritaire pour s'insérer dans un flux ou traverser un flux de circulation opposé, (v) la détection, la compréhension et le respect de la signalisation et des règles de priorité. À partir de ce type de connaissances, il est possible de prédire les situations de conduite dans lesquelles ces erreurs ou difficultés sont le plus susceptibles de se produire.

⁶Ce problème fait partie des objets d'étude pour certains pays où la transmission automatique s'est généralisée depuis plusieurs années, comme aux États-Unis par exemple.

Une fois ces situations identifiées, elles constituent des lieux d’investigation à privilégier pour mener une analyse en profondeur sur la façon dont se manifestent ces difficultés, notamment par le biais d’un véhicule instrumenté. C’est l’objet de l’étude de type *naturalistic driving* qui est en cours auprès d’une population de conducteurs âgés en Australie et en Nouvelle-Zélande. Ce type d’étude consiste à instrumenter de façon minimale le véhicule du participant et collecter des données sur une longue période pendant que le conducteur utilise son véhicule comme à son habitude. Dans le cadre de cette étude, les auteurs ont procédé à une revue de la littérature afin de définir les comportements inappropriés attendus chez les conducteurs seniors. Ces éléments ont permis de concevoir l’outil DOS (Daily Observation Schedule) destiné à être embarqué dans les véhicules des participants, afin d’enregistrer certains paramètres de la conduite. À partir des données recueillies, une évaluation des performances de conduite est planifiée d’après les critères présentés dans le tableau 2.

TABLEAU 2 – Erreurs de conduite des conducteurs âgés en fonction de la tâche de conduite (adapté de [Vlahodimitrakou et al., 2013])

Tâche de conduite	Erreur spécifique
Observation de l’environnement routier : maintien à jour d’une bonne conscience des éléments du contexte routier	Non usage des rétroviseurs Stratégies visuelles inadaptées
Signalement : aptitude à signaler ses intentions dans le franchissement d’une intersection	Inapproprié
Régulation de sa vitesse : respect des limitations, régulation en fonction des conditions de circulation	Trop rapide Trop lent
Choix d’un créneau d’insertion : prise de décisions sécuritaires en estimant correctement la présence d’autres véhicules, lors d’une insertion, ou lors de la traversée d’une ou plusieurs voies de circulation	Opportunités manquées Choix de créneaux dangereux Non respect des règles de priorités
Respect du code de la route : capacité à se conformer et à s’adapter à la signalisation verticale et horizontale	Non respect des panneaux, feux Rouler sur les marquages
Contrôle latéral et longitudinal : positionner son véhicule en roulant comme en s’arrêtant, rester dans sa voie sur voies rapides, réguler en fonction du véhicule qui nous précède	Sorties de voies Heurter un trottoir Distances de sécurité inappropriées

Ce tableau constitue une vue d’ensemble des erreurs que l’on peut s’attendre à observer chez les conducteurs âgés. Il permet de cibler certaines mesures qui sont intéressantes à effectuer (ex. la position du véhicule dans sa voie et la distance au véhicule qui précède) qui n’étaient pas disponibles sur le véhicule instrumenté dont nous disposons dans sa version initiale. La sélection de créneau d’insertion inadapté semble un type d’erreur potentiellement observable, ainsi nous considérerons des infrastructures et des manœuvres dans lesquelles cette tâche intervient (ex. changement de voie et insertion sur voies rapides). Les problèmes en lien avec le respect des priorités encouragent à soumettre les conducteurs à des situations où l’infrastructure et la signalisation varient. Les stratégies visuelles inadaptées font également partie de ces mesures très intéressantes à considérer pour la suite.

3.4 Stratégies d'adaptation des conducteurs âgés

Nous avons dépeint jusqu'ici un tableau assez sombre des séniors au volant. D'abord en mettant en avant la complexité de la conduite et les conséquences du vieillissement avant de les mettre en regard pour s'intéresser à la survenue de l'accident chez le conducteur âgé qui serait dépassé, commettant des erreurs, et représentant potentiellement un danger pour les autres usagers. Cette section vise au contraire à mettre en avant un ensemble de stratégies d'adaptation, d'autorégulation et de compensation dont font preuve les conducteurs âgés pour adapter leurs pratiques de la conduite et maintenir une conduite sécuritaire en dépit des effets du vieillissement.

3.4.1 Auto-régulation et Stratégies de compensation en conduite

Face au vieillissement, les personnes âgées mettent en place des stratégies d'adaptation et de compensation afin de maintenir un niveau de performance et d'autonomie suffisant dans leur vie quotidienne [Thomas-Antérion and Krolak-Salmon, 2010]. Ce principe s'applique également à la conduite automobile.

L'auto-restriction de la conduite dans certaines circonstances peut être vue comme une sorte d'aménagement d'objectifs, c'est-à-dire une stratégie de renoncement à certains sous-objectifs d'une tâche, dans le but de préserver d'autres sous-objectifs plus prioritaires pour cette tâche [Marquié and Isingrini, 2001]. Cette réorganisation de la hiérarchie des priorités renvoie au principe d'*accomodation par les buts* dans le modèle de Marquié qui décrit les mécanismes d'adaptation [Marquié, 2004].

Mais l'auto-régulation est un phénomène plus complexe qui ne peut pas se définir uniquement comme les modifications de la conduite que rapportent les conducteurs âgés [Molnar et al., 2013b]. Les auteurs donnent une définition de l'auto-régulation provenant d'une synthèse de différents travaux. Ils la décrivent comme une démarche tendant à modifier ou ajuster ses déplacements ou habitudes de conduite. Ces modifications sont souvent perçues comme des stratégies de compensation. Cela consiste par exemple à conduire moins souvent, moins longtemps ou sur de plus faibles distances. Parfois, certains conducteurs âgés vont jusqu'à éviter intentionnellement certaines situations jugées trop difficiles face au déclin de leurs capacités (comme la conduite de nuit).

Les auteurs ont décrit l'auto-régulation comme un mécanisme pouvant s'opérer aux niveaux tactique et stratégique (au sens de [Michon, 1979, Michon, 1985]), et des « objectifs de vie » (au sens du *life-goal level* de [Eby et al., 2009]). La compensation stratégique s'applique à la logique préparatoire d'un trajet et concerne les circonstances dans lesquelles conduire. La compensation tactique s'applique au contexte des manœuvres réalisées dans un contexte particulier. Elle peut par exemple se manifester par la réduction des discussions avec un passager pour éviter la distraction ou l'augmentation des distances de sécurité avec le véhicule qui précède. Le niveau des « objectifs de vie » renvoie aux attitudes et motivations en général et la manière dont cela affecte la conduite. Ce niveau est lié à l'individu lui-même (son propre système de valeurs) mais aussi aux normes et à la culture de la société dans laquelle il vit.

Molnar et collègues se sont interrogés sur les motifs de tels ajustements (le titre de leur article questionnant le caractère systématique de la régulation dans les évitements qu'adoptent les âgés). En citant [Charlton et al., 2006], ils précisent par exemple qu'il existe de nombreuses raisons pour qu'un conducteur âgé évite une situation ou contexte en particulier qui n'ont rien à voir avec une

quelconque stratégie de compensation. Par exemple, les changements dans les habitudes de vie qui accompagnent la retraite entraîneront une tendance à ne pas conduire à certains moments de la journée. De plus, des recherches récentes ont montré que les jeunes conducteurs adoptent également des stratégies d'évitement [Naumann et al., 2011], ce qui plaide en faveur d'un recours à l'évitement pour des raisons qui ne se limitent pas à la volonté de compensation d'un déclin des capacités cognitives et/ou de conduite.

Bien qu'elle présente un intérêt pour une poursuite de la conduite dans une certaine mesure sans pour autant s'arrêter totalement, la preuve d'un effet sur la réduction du risque d'accident n'est pas toujours claire [Molnar and Eby, 2008]. Certaines recherches pointent également des effets pervers d'une restriction. En effet, s'il est logique de penser que l'on réduit son exposition au risque, cela entraîne mécaniquement une réduction de l'expérience de conduite [Baldock et al., 2006]. Que ce soit pour compenser ou auto-réguler leur pratique, la mise en place de telles stratégies par les séniors dépend d'un point central : la bonne connaissance de ses propres capacités.

3.4.2 Les situations redoutées par les conducteurs séniors

Comme nous l'avons évoqué, les conducteurs séniors peuvent adapter leur conduite en fonction de leur propre perception de l'exigence de cette activité dans certains contextes ou de leur propres faiblesses. Par exemple, le fait d'éviter les situations comme les TàG, la conduite sur autoroute, sous la pluie ou par trafic dense car ils ne se sentent pas confiants peut ainsi limiter leur risque d'être impliqués dans un accident [Stalvey and Owsley, 2000]. Parmi les évitements les plus marqués, on trouve le parking parallèle (ou créneau) et la conduite de nuit, particulièrement sous la pluie. La conduite sur des itinéraires inconnus, la conduite sur des tronçons autoroutiers sont également listées parmi les situations les plus évitées. Là encore, ces situations sont celles pour lesquelles les séniors déclarent être le moins confiants [Baldock et al., 2006]. Dans des proportions plus faibles, le changement de voie et l'insertion sur voies rapides sont également assimilés à des situations difficiles, qui peuvent être évitées par certains conducteurs. La synthèse disponible dans [Lallemant et al., 2013] conclue que ce principe d'évitement en lien avec un manque de confiance est fortement dépendant du genre.

Sur cette question de la confiance en soi, les conducteurs âgés les plus sécuritaires semblent être les femmes qui sont confiantes au volant et qui ont rapporté être en excellente ou très bonne santé [Oxley et al., 2005]. Inversement, les femmes ayant un faible niveau de confiance au volant ont un risque d'être impliquées dans un accident plus important et rencontrent des difficultés dans toutes les situations de conduite.

3.4.3 Auto-estimation de ses capacités de conduite

En effet, si les stratégies de compensation, à condition qu'elle soient adéquates, peuvent permettre de pallier certaines difficultés découlant d'un déclin physique, cognitif ou sensoriel, encore faut-il que les personnes concernées soient conscientes de ce déclin [Sargent-Cox et al., 2011]. Or, les conducteurs présentant un dysfonctionnement exécutif peuvent surestimer les habiletés, prendre des décisions inappropriées et dangereuses, et peuvent manquer de perspicacité quant à l'étendue de leurs déficits cognitifs [De Simone et al., 2006]. Dans la mesure où la plupart des conducteurs ont tendance à surévaluer leurs capacités à bien conduire [McKenna et al., 1991], ce différentiel pourrait être problématique chez certains séniors [Wood et al., 2013].

A titre d'exemple, une étude récente a montré une différence entre ce qui est rapporté par les conducteurs âgés et leur performance telle qu'elle peut être effectivement mesurée [Molnar et al., 2013a]. Certains auteurs pointent en effet une différence importante entre ce qui est rapporté par les conducteurs âgés et ce qui peut être observé sur route [Blanchard et al., 2010]. De plus une grande variabilité inter-individuelle renforce l'idée de s'intéresser au conducteur âgé à niveau individuel plus qu'au niveau de la population [Anstey et al., 2005]. Cela est à garder en tête pour la mise en place de l'expérimentation que nous concevrons. Plus particulièrement, cela confirme la nécessité d'avoir recours à des tests sur route (comme insiste [Vlahodimitrakou et al., 2013]), en jouant sur la complémentarité des données subjectives et objectives.

3.4.4 Les effets positifs de l'avancée en âge

Certains auteurs pointent les effets positifs du vieillissement telles que la sagesse, la maturité, ou encore comme nous venons de le voir, la capacité à développer des stratégies d'adaptation visant à se prémunir du danger et éviter les situations à risques [Light, 2000].

Ainsi, comme le montrent certaines données d'accidentologie présentées précédemment (vis-à-vis de l'alcool au volant, notamment), les séniors paraissent adopter une attitude plus respectueuse du code de la route et des règles de la sécurité routière, s'exposant ainsi moins que les conducteurs plus jeunes aux risques d'accidents induits par des prises de risque délibérées. S'ils prennent parfois des risques, c'est bien plus fréquemment de façon involontaire (en raison d'erreurs et/ou de difficultés induites par leurs moindres capacités cognitives) que dans une logique transgressive, délibérée et volontaire (i.e. à l'image des violations de Reason). En outre, l'expérience accumulée tout au long de leur vie de conducteur est également un soutien très utile pour les séniors. Par exemple, [Holland, 2001] souligne une bonne capacité d'anticipation du danger dans une situation donnée.

Si, comme le souligne [Loarer, 2007], la relation entre l'avancée en âge et la performance est un phénomène complexe, l'expérience accumulée tout au long de la vie peut néanmoins venir en « positif » compenser les effets « négatifs » du vieillissement.

3.5 Conclusion synthétique

Ce troisième chapitre a permis d'apporter des précisions sur les âgés au volant. Les éléments démographiques attestent que cette catégorie de conducteurs est en pleine croissance depuis plusieurs années et cette tendance s'accélère. Les nombreuses études que nous avons rapportées montrent que le vieillissement est un processus certes universel, mais dont la manifestation diffère énormément d'un individu à un autre, tout comme l'impact d'une capacité à une autre. Lorsque l'on s'intéresse à la question des séniors en sécurité routière, on trouve là aussi de nombreux éléments. Ce qui semble le plus intéressant à retenir est que cette population est concernée par les risques routiers, mais que ceux-ci diffèrent sensiblement de la classe des jeunes (la plus meurtrière sur les routes). Dans un cas, des conduites à risque doublées d'inexpérience causent souvent les accidents. Dans l'autre, les séniors évitent les conduites à risque, possèdent de l'expérience, mais sont confrontés à des difficultés réelles qui peuvent entraîner des dysfonctionnements voire des erreurs de conduite pouvant entraîner un accident, souvent lourd de conséquences.

Le prochain chapitre s'intéressera aux aides à la conduite qui constituent une solution possible pour favoriser l'auto-mobilité des âgés en accord avec les préoccupations de Sécurité Routière. Des initiatives sont menées par les industriels et les chercheurs depuis de nombreuses années en matière d'assistance au conducteur. On trouve sur le marché des dispositifs embarqués de plus en plus évolués visant à rendre la conduite d'un véhicule plus sûre. L'approche de type facteurs humains est plus récente et a pris son essor depuis l'introduction progressive de l'automatisation dans les véhicules. Le chapitre suivant donnera des éléments sur cette conjoncture et permettra de positionner l'approche du monitoring, avant de détailler l'approche de conception centrée sur l'humain dans laquelle nous nous inscrivons.

Aides à la conduite

Comme nous l'avons évoqué, la sécurité routière fait partie des thématiques sociétales de premier plan. Afin d'améliorer la sécurité des usagers de la route, différentes actions sont susceptibles d'être menées au niveau de chaque sous-système du trièdre Usager - Mode de déplacement - Infrastructure. Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons à un usager et à un mode de déplacement particulier : le conducteur âgé utilisant un véhicule léger. Plus précisément encore, nous centrons notre démarche sur la facilitation et la sécurisation de l'activité du conducteur lorsqu'il se déplace au moyen de son véhicule.

L'objectif de ce chapitre est donc de se placer dans la philosophie de soutien au conducteur, au cours de son activité de conduite, tel qu'il pourrait être apporté par de futurs systèmes embarqués. Ce chapitre est segmenté en 5 sections :

- La première section aborde les questions de la sécurisation des véhicules et de protection de leurs occupants et leurs évolutions dans l'automobile.
- Les systèmes d'aides embarqués sont au centre de la seconde section qui présente un panorama de l'existant en matière d'aides à la conduite.
- Nous nous intéresserons ensuite à l'Interaction Homme-Machine dans le cadre de l'assistance à la conduite.
- Nous présenterons ensuite l'approche du monitoring qui est au cœur de notre problématique de recherche.
- Enfin, nous questionnons la littérature quant aux apports potentiels des systèmes d'aide à la conduite pour les conducteurs âgés, en confrontant leurs faiblesses, les effets négatifs de l'âge en situation de conduite et les fonctions supports à privilégier.

4.1 Évolutions historico-techniques dans l'automobile

Depuis de nombreuses années, les industriels et les chercheurs travaillent à améliorer continuellement la sécurité des véhicules et de leurs occupants.

4.1.1 Les évolutions de l'automobile

Dans un article récent et très détaillé, [Akamatsu et al., 2013] proposent une synthèse des évolutions technologiques et des travaux menés dans le champ pluri-disciplinaire des Facteurs Humains dans le domaine de l'automobile. Les auteurs répertorient 7 catégories dans la prise en compte du facteur humain, correspondant à 7 grandes étapes : tâche de conduite primaire (commandes, affichages et visibilité) ; poste de conduite (siège et contraintes physiques, vibration, confort et température) ; état du conducteur (fatigue et facultés diminuées) ; blessures liées à un accident ; systèmes d'aides à la conduite ; communication extérieure au véhicule ; et comportements de conduite.

On retrouve une autre décomposition qui se focalise majoritairement sur les 40 dernières années dans [Blosseville and Flonneau, 2014], qui proposent 4 grandes ères : la phase de transition de la voiture hippomobile au véhicule automobile (jusqu'en 1980) ; l'ère du développement des systèmes pour l'infrastructure et le contrôle du trafic routier (1980-2000) jusqu'à la transition de focus du niveau du réseau, au niveau du véhicule lui-même ; l'ère des systèmes autonomes (2000-2010), avec les systèmes autonomes embarqués d'une part et l'automatisation partielle et les projets d'automatisation totale ; et l'ère de la connectivité (2010-2020) avec les systèmes coopératifs communicants, la connectivité infrastructure-véhicule (V2X) et véhicule-véhicule (V2V). L'accélération des recherches en matière de V2V et V2X se justifie notamment du fait de la limitation des systèmes de vision artificielle à l'ordre de grandeur de la centaine de mètres, qui constitue un frein à l'automatisation pour des vitesses plus élevées, là où la faisabilité technique d'une automatisation basse vitesse est d'ores et déjà établie (ex. avec le projet français ABV [Glaser et al., 2012]).

4.1.2 Niveaux de sécurité

On distingue historiquement trois niveaux et deux types de sécurité en ce qui concerne le véhicule et ses occupants : le niveau primaire (ou sécurité active), le niveau secondaire (ou sécurité passive), et depuis quelques années, le niveau tertiaire. De façon succincte, on peut décrire ces niveaux de sécurité selon la décomposition temporelle de Haddon en pre-crash, crash et post-crash [Haddon Jr, 1972]). Le niveau primaire concerne la phase hors accident (il vise à l'éviter). Le niveau secondaire concerne la phase de pré-choc et de choc (il vise à maximiser l'efficacité des dispositifs de sécurité pour minimiser les effets immédiats d'un choc). Enfin, le niveau tertiaire s'applique après le choc afin d'optimiser la coordination des secours pour prendre en charge au plus vite les blessés.

La sécurité active (ou sécurité primaire) concerne toutes les évolutions techniques et technologiques permettant de maintenir le véhicule dans des conditions de fonctionnement optimal évitant la survenue d'un accident. Parmi ce sous-ensemble, les systèmes d'anti-blocage des roues (ABS), le système de stabilité électronique (ESP) ou de contrôle de traction (TC) matérialisent les efforts menés en lien avec le contact pneumatique/chaussée. La sécurité active a fait l'ob-

4.1. Évolutions historico-techniques dans l'automobile

jet d'investissements conséquents de la part des industriels. Les systèmes d'aide à la conduite impliquant une interaction quelconque avec le conducteur font partie de cette catégorie.

De façon schématique, la sécurité passive (ou sécurité secondaire) inclut les dispositifs ou les évolutions techniques destinés à maximiser la sécurité des occupants du véhicule en cas d'accident. La ceinture de sécurité, les airbags frontaux et latéraux, les renforts latéraux du bâti du véhicule ou encore les zones de déformations destinées à absorber l'énergie du choc appartiennent à cette classe. Citons également les évolutions d'autres éléments intérieurs du véhicule telles que le recours à du verre feuilleté dans la composition des vitres pour éviter la projection d'éclats en cas de choc, la mise en place de dispositifs de retenue des objets transportés pour minimiser le risque de blessures, etc. Du point de vue de l'architecture du véhicule, le positionnement optimal du réservoir de carburant limitant les risques de feu est un autre exemple. Dans leurs évolutions plus avancées, ces dispositifs intègrent des détecteurs de survenue d'accident et peuvent par exemple ajuster la position des appuis-tête, pré-tendre les ceintures de sécurité ou encore estimer la violence du choc pour ajuster les airbags à déclencher ainsi que la temporalité et la vitesse de leur déclenchement.

La sécurité tertiaire concerne les aspects organisationnels qui visent à limiter les conséquences de l'accident une fois qu'il a eu lieu. Les Bulletins d'Analyses d'Accidents Corporels (BAAC) comme les Études Détaillées d'Accidents (EDA) capitalisent des connaissances sur les circonstances des accidents, mais aussi leurs conséquences, notamment en termes de lésions. Une bonne coordination des services de secours (pompiers, samu, police, agents des autoroutes) permet par exemple de réduire les délais d'intervention sur les lieux d'un accident, pour sécuriser les lieux et prendre en charge les blessés. Le système e-Call (pour appel d'urgence) contribue également à cet effort. À l'aide de capteurs embarqués, le dispositif détecte la survenue d'un choc violent. À l'aide d'une carte SIM, il compose alors le 112 pour alerter les secours. Le lieu où se trouve le véhicule, le type et le modèle de véhicule, ainsi que certains paramètres en lien avec son état (e.g. quels airbags se sont déclenchés) sont immédiatement transmis au centre d'urgence pour mobiliser les effectifs matériels et humains adéquats. Le parlement Européen a voté pour l'obligation d'installation du système e-Call dans tous les véhicules d'ici à 2017. A posteriori, des décisions peuvent également être prises en vue de réaliser des aménagements de l'infrastructure dans les zones accidentogènes.

Les aides à la conduite auxquelles notre travail vise à apporter une plus-value se situent au niveau primaire ou secondaire, en fonction du niveau d'automatisation impliqué. Nous reviendrons plus loin sur cet aspect.

4.1.3 Le véhicule intelligent

Nous entrons actuellement dans le *siècle de la voiture intelligente* [Laurgeau, 2009]. Les véhicules sont dotés de possibilités toujours plus évoluées, notamment grâce aux technologies qu'ils embarquent. Nous allons tout d'abord parcourir les différentes avancées en matières de senseurs environnementaux. D'autres auteurs emploient même le terme de *Cognitive Car* (comme [Li et al., 2012, Heide and Henning, 2006]) ou encore de *Aware Car* (utilisé par [Coughlin et al., 2009]) pour évoquer le tournant qui se profile aujourd'hui dans l'industrie automobile.

La conduite a été présentée comme une activité multi-niveaux, impliquant des processus perceptivo-cognitifs (prélèvement et traitement de l'information) et des processus moteurs (actions sur les commandes du véhicule). Dans la mesure où l'humain peut éprouver des difficultés

pour réaliser ces tâches, il est légitime de chercher à concevoir des systèmes embarqués capables de le soutenir dans ces différentes fonctions lorsqu'il se trouve au volant de son véhicule. Les évolutions techniques des décennies précédentes ont portées sur ces grandes fonctions.

La perception artificielle à l'aide de caméras, de télémètres lasers, de capteurs ultrasons ou de radars à portée variable permet aujourd'hui le prélèvement d'informations concernant l'environnement qui entoure un véhicule. Les techniques de traitement du signal appliquées aux mesures effectuées par ces différents capteurs sont implémentées dans des algorithmes toujours plus pointus et performants. Parmi les méthodes utilisées, la fusion de données en provenance de sources hétérogènes a ouvert le champ à des possibilités très intéressantes. Ces processus de traitement de l'information *in silico* sont aujourd'hui intégrés à des micro-processeurs et micro-contrôleurs également très performants. Il est alors possible, en temps-réel, de manipuler un grand nombre de données hétérogènes pour produire en sortie des paramètres renseignant sur différents éléments de l'environnement. De plus, la miniaturisation des ces capteurs comme de leurs unités de traitement d'information associées, permettent aujourd'hui d'embarquer cette *intelligence* dans les véhicules.

Mais l'électronique est également très présente lorsque vous conduisez votre véhicule, même dépourvu de ces différents capteurs de pointe. En effet, lorsque le conducteur appuie sur la pédale d'accélérateur par exemple, ce n'est plus une chaîne mécanique pure qui va commander la montée en régime du moteur. Un calculateur reçoit l'information d'enfoncement de la pédale pour déterminer la quantité de carburant à injecter dans le moteur afin que celui-ci puisse fonctionner à plus haut régime et produire plus d'énergie pour faire avancer le véhicule. Cette électronique de la chaîne intermédiaire *action sur une commande de l'utilisateur - réponse du système* offre un découplage entre le conducteur et le véhicule pour la fonctionnalité du système considérée. À partir de là, il devient relativement simple de substituer une *entrée* conducteur par une *entrée* de type automate. Pour la pédale d'accélérateur, le calculateur en charge de piloter le moteur peut aisément maintenir une vitesse donnée (qui est une de ses *sorties*), en pilotant directement l'injection de carburant, sans avoir besoin d'une *entrée* provenant du conducteur. On obtient ainsi un régulateur de vitesse, équipement qui se trouve aujourd'hui de série sur de nombreux véhicules. Bien sûr, une *entrée* de la part du conducteur peut débrayer le système afin lui rendre le plein contrôle sur la fonctionnalité (modulo la couche intermédiaire intercalée entre l'*entrée* et la *sortie*). Dans le cas du régulateur de vitesse, un appui sur une des trois pédales débraye instantanément l'automate qui cesse de maintenir une vitesse de consigne.

D'une façon très schématique, on peut considérer que le conducteur ne contrôle plus *directement* son véhicule (en tout cas plus au travers d'un ensemble mécanique), il déclenche des actions sur des commandes qui sont traitées par des calculateurs, afin de produire des effets sur les différents organes du véhicule. Sur le plan technique, on peut donc dire que c'est l'*ADN* même des véhicules qui a évolué au cours des dernières décennies, offrant un terrain favorable au développement d'une autonomisation du véhicule dans son propre contrôle.

4.2 Les systèmes d'aide embarqués

Les différentes évolutions qui rendent les véhicules modernes plus *intelligents* proviennent de l'intégration de systèmes embarqués assurant une ou plusieurs fonctionnalités. Ces fonctionnalités sont soit liées au confort, soit d'ordre sécuritaire. C'est le second type qui nous intéresse ici.

4.2.1 Éléments de définition

Dans [Li et al., 2012], les auteurs donnent une définition des ADAS¹ comme « *un système automatisé [au sens technique], qui apporte son soutien au conducteur, en renforçant ses habilités sensorielles, en l'alertant en cas d'erreur et en réduisant l'effort qu'il doit fournir pour contrôler le véhicule* ». Ils poursuivent en évoquant l'ADAS idéal. Ce dernier devrait fonctionner dans une logique de coopération pour mettre en œuvre une compréhension mutuelle entre le conducteur et le véhicule dans le but de réduire ou d'éviter les conflits. Pour cet objectif, la compréhension du conducteur et la modélisation de son activité sont progressivement devenues des sujets de préoccupation de la recherche ergonomique, mais également dans le domaine des véhicules intelligents [Inagaki, 2008, Hoc et al., 2009, Bellet et al., 2011].

À partir des différents éléments de la littérature dont nous avons pris connaissance, nous proposons la définition suivante pour une aide à la conduite : un dispositif composé d'au moins un capteur orienté vers l'environnement du véhicule, ou vers l'habitacle, et qui produit des informations à destination du conducteur sous une forme symbolisée ou non, d'une des composantes de l'environnement et/ou prend en charge une partie des actions de contrôle du véhicule (voire sa totalité), en fonction du contexte de conduite.

On trouve aujourd'hui des systèmes de différentes natures qui utilisent le retour haptique, le retour sonore, ou visuel. Au niveau haptique, nous citerons les recherches portant sur les planchers vibrants ou encore les pédales à retour d'effort. Mais c'est au niveau visuel que les innovations sont les plus importantes. Les interfaces graphiques font également l'objet d'une attention particulière dans les véhicules modernes (instrumentation de bord, recours à la vision tête haute en couleurs ou encore la réalité augmentée).

Actuellement, le taux de pénétration sur le marché des aides à la conduite est correct. On constate une baisse des tarifs ainsi que l'inclusion de série de plusieurs dispositifs avancés (ex. la dernière Ford Focus). Néanmoins, les dispositifs les plus évolués demeurent exclusivement disponibles dans des véhicules haut de gamme (ex. le système distronic de chez Mercedes).

Au delà de la segmentation par niveau de sécurité dont nous avons parlé en début de chapitre, on trouve souvent la distinction entre les fonctions de confort et les fonctions sécuritaires pour ce qui concerne les aides à la conduite. Pour les premières, il s'agit d'améliorer les conditions de conduite et de faciliter la tâche du conducteur lorsqu'il utilise son véhicule. Pour les secondes, il s'agit de fonctions visant à améliorer la sécurité du conducteur et de ses passagers. En réalité, les technologies support peuvent être communes pour ces deux classes de systèmes.

Les constructeurs et les équipementiers rivalisent d'ingéniosité pour mettre en avant les nouveaux dispositifs de sécurité qu'ils commercialisent ou dont leurs modèles sont équipés (de série, ou en option)².

¹Historiquement, l'acronyme ADAS signifiait Automated Driving Assistance System mais il est fréquemment remplacé aujourd'hui par *Adaptive* ou *Advanced*.

²À titre d'exemple, sur le seul site internet de l'équipementier Bosch, on trouve la répartition des systèmes suivante : **driver assistance system (Confort)** intelligent headlight control, road sign recognition, night vision plus, parking aid, parking assistant, rear view system, side view assist, traffic jam assist ; **driver assistance system (Safety)** driver drowsiness detection, predictive emergency braking systems, lane assist systems (incluant lane departure warning, lane keeping support, lane change assist) ; rear cross traffic alert ; construction zone assist ; predictive pedestrian protection.

4.2.2 Les fonctions d'assistance

Nous pouvons regrouper les systèmes existants en fonction du service rendu au conducteur en matière de contribution à l'activité de conduite. Nous présenterons ici des fonctions élémentaires qui prennent en charge la supervision d'une sous-dimension de la conduite en général. Les systèmes d'aides exploitent directement ces fonctions élémentaires, ou une combinaison de ces fonctions de base, pour procurer un niveau plus intégré d'assistance.

Améliorer le confort de la conduite : On trouve à ce niveau l'ensemble des systèmes automatiques visant à rendre la conduite plus agréable pour le conducteur (ex. climatisation automatique) en lui facilitant la vie (ex. condamnation centralisée, ouverture automatique du coffre, vitres et rétroviseurs réglables électriquement, essuie-glaces automatiques, allumage des feux automatique). C'est le niveau de base de l'automatisation progressive du véhicule.

Assistance à la perception de l'environnement : Nous avons déjà insisté sur l'importance de la perception en conduite. Aider le conducteur au niveau de cette composante de son activité semble donc primordial. On trouve à ce niveau des innovations portant sur l'éclairage de la route par le véhicule avec les éclairages dynamiques (ex. adaptation du faisceau lumineux en fonction de la courbure). Plus évolués encore, on trouve des dispositifs de vision utilisant une caméra thermique qui vise à offrir une vision nocturne pour faciliter la détection d'un piéton ou d'un animal sur la route par exemple. L'introduction de caméras dans les automobiles permet également d'augmenter le champ de vision du conducteur en fonction des situations comme nous l'illustrerons pour le cas du stationnement. À ce niveau, la surveillance des angles morts (*Blind Spot Detection*) est de plus en plus courante sur les véhicules grâce au radar courte portée.

Améliorer l'interprétation de la situation : Les soutiens nécessaires dans cette catégorie concernent la compréhension de l'infrastructure et la détection des autres usagers autour de soi, pour une conscience de la situation adaptée. Au niveau de l'infrastructure (ex. règles de priorité, approche d'un virage dangereux), les navigateurs embarqués qui pourront exploiter des bases de données cartographiques adaptées à l'assistance au conducteur constituent un exemple intéressant. Pour ce qui concerne le maintien à jour de la connaissance des règles courantes de circulation, la signalisation embarquée pourrait offrir une mémoire tampon au conducteur (ex. vitesse de limite courante, rappel d'un panneau annonçant une zone de travaux qui était visible il y a quelques secondes).

Assistance au contrôle longitudinal : En matière de contrôle longitudinal, on trouve sur le marché des limiteurs et régulateurs de vitesse qui permettent de détecter le dépassement d'une vitesse de consigne ou de maintenir automatiquement cette vitesse. D'autres systèmes visent à aider le conducteur à maintenir une distance inter-véhiculaire sécuritaire, soit en lui proposant un retour continu par le biais d'une IHM (ex. *Distance Alert* proposé par Peugeot), soit en agissant sur la vitesse du véhicule pour maintenir automatiquement un intervalle de sécurité (*Forward Collision System*). Le régulateur de vitesse adaptatif (ACC pour *Adaptive Cruise Control*) combine par exemple la fonction de régulation automatique de la vitesse du véhicule avec la régulation de l'intervalle de sécurité en assurant le maintien d'une vitesse de consigne tant que la distance inter-véhiculaire est dans un intervalle acceptable.

Assistance au contrôle latéral : Pour le confort dans l'activité de contrôle de sa trajectoire, la direction assistée fait partie de l'équipement de base de la majorité des véhicules. Pour ce qui concerne l'aide au contrôle latéral, la détection des marquages au sol ou des bords de voies de

circulation peuvent par exemple permettre à un système embarqué de détecter un risque de sortie de voie, voire une sortie de voie effective. Ces dispositifs sont nommés *Lane Departure Warning* (LDW) lorsqu'ils informent le conducteur d'un tel risque. Lorsque ces dispositifs sont capables de maintenir le véhicule dans sa voie de façon autonome, on les dénomme *Lane Keeping Support* (LKS).

Assistance aux manœuvres de stationnement : La manœuvre de stationnement est un bon exemple pour décliner les différentes possibilités d'interactions assistance-conducteur. La démocratisation des radars de recul et des caméras permet aujourd'hui d'accompagner le conducteur dans cette phase de la conduite. On trouve différentes solutions dans cette classe de système, de l'aide à l'estimation du créneau disponible pour se stationner au stationnement entièrement automatisé (déclenché par le conducteur à l'aide d'un bouton). Le visuel, le sonore et la réalité augmentée sont des modalités courantes dans ce genre de systèmes. La détection d'obstacles lors de la sortie d'un stationnement est également disponible sur le marché.

Aide à la conduite en embouteillages ou zones de travaux : Les situations de *bouchons* sont également au centre des préoccupations des concepteurs. En effet, les différentes fonctions qui sont exploitables pour le contrôle latéral et longitudinal sont tout à fait pertinentes dans ces situations. Les modifications temporaires de l'infrastructure en lien avec des travaux d'aménagement font également l'objet de développement. Cela concerne l'information de la présence d'une zone de travaux, les changements qu'elle comporte ou encore les précautions à respecter (en utilisant la signalisation embarquée par exemple).

Assistance aux situations d'urgence : Les situations d'urgence sont celles pour lesquelles le partage d'autorité entre le conducteur et l'assistance est le plus net. Certains dispositifs visent à augmenter l'efficacité de l'action du conducteur (ex. l'aide au freinage d'urgence qui va déclencher la puissance maximale sur les freins) tandis que d'autres peuvent prendre le contrôle du véhicule, à l'image des systèmes d'Anti-Collision ou de *Collision Mitigation* engageant un freinage d'urgence pour éviter l'accident, ou en limiter les conséquences.

4.2.3 Temporalité et aides à la conduite

Les dispositifs du marché peuvent aujourd'hui permettre de maintenir des informations qui ne sont plus disponibles à l'instant t dans l'environnement, comme un panneau annonçant une zone de travaux à 500 mètres. Les informations présentées dans l'infrastructure durant les quelques dizaines de secondes qui ont précédées peuvent ainsi être maintenues disponibles pour le conducteur, voire être renforcées (par exemple s'il n'avait pas prélevé l'information). Bien sûr, un grand nombre d'informations sont présentées au conducteur à chaque instant concernant l'état de sa vitesse ou le régime moteur par le biais des jauges disposées sur le tableau de bord. Un système d'aide à la navigation offre également une position courante du véhicule sur une cartographie. La consommation moyenne de carburant est un autre exemple d'information que propose la plupart des véhicules récents. On peut distinguer différents niveaux de temporalité dans le futur, allant du court au long terme. Sur le long terme, un navigateur indique par exemple le temps et la distance restants à parcourir pour atteindre une destination. Un système de type *Traffic Message Channel* (TMC) disponible via l'auto-radio avertit d'un risque de zone congestionnée dans quelques kilomètres (moyen terme). Enfin, le court terme, voire très court terme, est également au cœur des efforts menés par les développeurs de solutions, en se focalisant sur les situations

d'urgence. Dans cette catégorie, on trouve certains systèmes d'alertes comme le *Predictive Pedestrian Protection*, en charge de prédire l'engagement soudain d'un piéton sur la voie, ou encore des prototypes de communications entre véhicules pour transmettre l'information concernant la présence d'un obstacle en sortie d'un virage, par exemple. Ce niveau court terme pose un grand nombre de contraintes au concepteur quant à la fiabilité des prédictions. Pour l'exemple de la détection de piéton, la rationalité actuelle consiste à déclencher un freinage d'urgence le plus puissant possible, au dernier moment (donc lorsque le risque de collision est très probable).

4.2.4 Niveaux d'activité et aides à la conduite

On peut considérer qu'à l'heure actuelle, les niveaux stratégiques et opérationnels sont plutôt bien couverts par les aides à la conduite d'ores et déjà existantes. En effet, les systèmes d'aide à la navigation réalisent la planification d'un trajet et proposent un guidage au conducteur. Pour le contrôle latéral et longitudinal, des solutions techniques sont également disponibles dans l'offre technologique actuelle. Le réel maillon manquant se situe au niveau tactique de l'activité de conduite, pour lequel le conducteur réalise un ensemble de traitements complexes à partir des informations qu'il prélève dans l'environnement, afin d'alimenter ses représentations mentales de la situation de conduite (courante et anticipées), à partir desquelles il prend ses décisions et met en œuvre les actions nécessaires au déplacement de son véhicule. Si aucun dispositif technique ne saurait atteindre à ce jour la remarquable puissance du cerveau humain dans la conduite automobile, la technologie peut néanmoins constituer un facilitateur pour le bon déroulement de certains de ces traitements. On peut imaginer que des navigateurs embarqués de future génération puissent assister le conducteur à un niveau plus tactique, par exemple en exploitant la Réalité Augmentée pour tracer sur la route la trajectoire à emprunter pour suivre son itinéraire.

Comme nous l'avons vu au fil de cette section, les aides à la conduite se distinguent également en termes de modalités d'interaction avec le conducteur, entre les dispositifs en charge de transmettre de l'information *versus* intervenir à un degré variable directement sur les commandes du véhicule. Cet angle de l'interaction homme-machine est abordé dans la section suivante.

4.2.5 Assistance coopérative et assistance substitutive

Comme le constatent Bellet et collègues au regard de la complexité de l'activité de conduite automobile et de son caractère risqué, il apparaît nécessaire de s'intéresser à la question du support à l'activité du conducteur. Néanmoins, à la vue de l'impressionnante adaptation dont doit faire preuve tout conducteur, il est également extrêmement complexe d'assister ce dernier dans son activité [Bellet et al., 2003]. À partir de ce constat, les auteurs proposent deux logiques qui peuvent être envisagées : la logique *substitutive* versus *coopérative*.

Les accidents de la circulation découlent dans une large majorité d'une défaillance humaine. Si l'on raisonne de façon pragmatique, il n'est pas erroné de penser qu'en retirant le contrôle du véhicule au conducteur, il n'y aurait plus d'accidents, et donc plus de problèmes. Notre description est quelque peu caricaturale, mais c'est la philosophie de la logique substitutive.

Les acteurs qui progressent dans cette direction font partie d'une communauté regroupant des disciplines comme l'automatique, les télécommunications, l'électronique ou la mécanique. Les verrous sont d'ordre technique, et comme nous le verrons un peu plus loin, nombre d'entre eux sont d'ores et déjà levés via plusieurs solutions opérationnelles. Néanmoins, cela suppose

4.3. De l'interaction H-M à l'automatisation de la conduite

d'atteindre une fiabilité absolue si l'on souhaite sortir complètement l'humain de son activité de conduite pour celle de passager et atteindre une automatisation totale. Sinon, c'est sous l'angle de la coopération qu'il faudra aborder la problématique.

C'est en effet un couple assistance-conducteur qui est en charge de la conduite si l'automatisation n'est que localement totale (i.e. assure intégralement une sous-tâche en lien avec la conduite). C'est dans cette philosophie de « *couplage homme-machine* » [Amalberti, 1996] que la logique coopérative vise à servir la conception d'une technologie en relais de l'humain. Là encore, nous reviendrons plus en détails sur cette définition lors de la présentation de notre approche.

Les acteurs qui progressent dans cette direction favorisent la pluridisciplinarité pour appréhender la problématique dans toute sa complexité. Les sciences de l'humain telles que l'ergonomie et les facteurs humains ou la psychologie, les sciences cognitives et les sciences de l'ingénieur sont mises à contribution dans des approches d'Ingénierie Cognitive [Boy, 2003]. Nos travaux se situent dans ce champ disciplinaire émergent.

4.3 De l'interaction H-M à l'automatisation de la conduite

Parmi les systèmes d'aides existants, on trouve différents principes d'interaction entre l'assistance et le conducteur. On peut distinguer 4 ensembles de modalités de mise en relation du conducteur avec l'assistance : l'information au conducteur, l'envoi d'alerte au conducteur, la prise de contrôle partielle du véhicule par l'assistance, ou l'autonomie totale du véhicule. Nous détaillons ces différentes catégories dans cette section.

4.3.1 Les dispositifs informatifs

La catégorie des systèmes informatifs (souvent dénommés IVIS pour In-Vehicle Information Systems) regroupe l'ensemble des dispositifs qui proposent de l'information au conducteur. Les systèmes de navigation et leur fonction de localisation qui permet au conducteur de savoir où il se trouve, la position d'une station service ou d'un point d'intérêt touristique à proximité par exemple, appartiennent à cette catégorie. Le conducteur peut demander l'information, lorsqu'il le souhaite, que ce soit par une sollicitation ponctuelle, ou par l'activation du système dans un contexte donné. En terme d'interaction Homme-Machine, diffuser de l'information au conducteur soulève plusieurs questions : quand doit-on envoyer une information ? Quelle information ? Sous quelle forme ?

En effet, la conduite est une activité très sollicitante, et la multiplication de messages à destination du conducteur peut perturber son activité. Pour les systèmes informatifs, on peut dire que la perturbation s'apparente à une *distraction* du conducteur, qui peut s'avérer problématique en fonction du contexte de conduite. Il s'agit donc de s'interroger sur la *disponibilité* du conducteur pour recevoir un message, la *nature* de l'information à lui transmettre et la *modalité de présentation* de cette information, au regard de la situation de conduite. Dans le cas où plusieurs systèmes informatifs indépendants sont actifs simultanément, la gestion des *priorités* se pose également. Ces questions ont fait l'objet de nombreux projets de recherche au niveau Européen, dont le projet CEMVOCAS [Bellet et al., 2002] est un exemple.

4.3.2 Les dispositifs d’alerte

Les dispositifs d’alerte supposent la présence d’au moins un capteur qui produit une mesure sur laquelle il est possible de déclencher une alarme (en général il s’agit régulièrement d’une fusion de données en provenance de différents capteurs comme nous l’avons vu). D’un point de vue général, ces systèmes se contentent de délivrer une alerte au conducteur, qui reste libre de prendre en compte cette alerte pour modifier sa conduite à un instant donné ou non. Pour cette famille de systèmes, les enjeux en matière d’interaction H-M décrits pour les systèmes informatiques restent valables. Cependant, les dispositifs d’alerte sont souvent développés dans une optique de sécurité, ce qui durcit la nécessité de ne pas perturber l’activité du conducteur. Il ne faut bien sûr pas provoquer de distraction chez le conducteur mais aussi éviter la *surcharge cognitive*, en diffusant une alerte qui soit intelligible et adéquate, en gérant les priorités entre différents systèmes. En effet, dès lors que ces systèmes ont pour objectif d’alerter le conducteur quant à un danger (souvent imminent), la question des *fausses alarmes* et des *non détections* est de première importance.

Prenons un système d’aide lambda. Ce système possède un certain *domaine de validité*, c’est-à-dire une gamme de situations pour lesquelles il a été conçu. Lorsque ce système se déclenche dans un cas où il devrait rester neutre, cela correspond à une fausse alarme. Si en revanche, dans un contexte pour lequel on peut s’attendre à ce qu’il se manifeste, le système ne réagit pas, c’est une non détection. Concevoir un système fiable consiste à viser un taux de non détection le plus faible possible et un taux de fausses alarmes acceptable. Mais plus la détection est sensible, plus le risque de fausses alarmes est grand. Il s’agit donc la plupart du temps de déterminer un compromis entre la fiabilité du système, son acceptabilité et son acceptation (i.e. son usage) par l’utilisateur final.

Au delà de ces deux catégories de systèmes qui communiquent avec le conducteur qui reste le seul à décider quoi faire à partir de ces informations ou alertes, l’automatisation progressive de la conduite a connu un essor important dans les 3 dernières décennies.

4.3.3 Automatisation progressive de la conduite automobile

L’automatisation renvoie à l’idée de l’intervention autonome du véhicule dans son propre contrôle. Dès lors, le conducteur et le véhicule (via l’assistance) vont donc co-intervenir dans le contrôle de certaines fonctions du véhicule, comme le contrôle longitudinal ou le contrôle latéral. Dans cette logique de co-action, Sheridan et Verplank se sont intéressés à l’interaction H-M dans le pilotage à distance de véhicules sub-aquatiques par des opérateurs pour proposer une classification des *niveaux d’automatisation*.

4.3.3.1 Les niveaux d’automatisation de Sheridan et Verplank

Dans leurs travaux, [Sheridan and Verplank, 1978] proposent un modèle qui détermine les rôles de l’humain et de la machine dans la réalisation d’une tâche. La réalisation de la tâche inclut la prise de décision et la mise en œuvre d’une action. Ils basent la prise de décision sur la sélection d’une *action*, à partir d’une liste d’*options* possibles. Leur modèle comporte 10 niveaux d’automatisation (tableau 3).

4.3. De l'interaction H-M à l'automatisation de la conduite

TABLEAU 3 – Les 10 niveaux d'automatisation (d'après [Sheridan and Verplank, 1978])

Niveau d'automatisation	Interaction Homme-Machine
1	M n'offre aucune assistance : H décide et agit seul
2	M détermine les options H choisit et agit
3	M sélectionne quelques options H choisit dans la liste des options
4	M suggère une option H choisit ou non de suivre
5	M exécute la suggestion si H approuve
6	M exécute la suggestion si H n'a pas désapprouvé après un temps donné
7	M agit en autonomie H est informé de ce que M a fait
8	M agit en autonomie H est informé des actions de M s'il le demande
9	M agit en autonomie H est informé si M décide qu'il doit l'être
10	M décide et agit en autonomie : H n'est plus impliqué

Ainsi, on voit une certaine progression dans l'autonomie qui est donnée à la machine. Pour la conduite automobile, le niveau 1 correspond à une conduite d'un véhicule dépourvu de toute assistance³, et le niveau 10 correspond à un véhicule totalement autonome. Entre ces deux extrémités, on distingue différents niveaux de coopération entre l'humain et la machine, pour lesquels la supervision de la machine par l'humain évolue également. Au niveau 5 par exemple, la machine exécute l'action à condition que l'humain approuve le choix qu'elle a déterminé. L'humain est donc toujours « maître » dans la prise de décision finale. Au niveau 6 en revanche, la machine exécutera l'action dès lors que l'humain n'aura pas désapprouvé le choix que la machine a sélectionné dans un temps imparti. Bien qu'il possède toujours un droit de véto, l'autorité de l'humain sur la machine est déjà plus faible à ce niveau puisque la machine va pouvoir prendre l'initiative d'agir en fonction de ses propres propositions. Au delà de ce niveau 6, la machine est autonome en action, et le rôle de l'humain devient celui d'un superviseur qui est systématiquement informé de ce que fait la machine (niveau 7), puis uniquement s'il le demande (niveau 8), puis si la machine estime qu'il doit l'être (niveau 9). On voit dans cette classification comme l'humain est progressivement sorti de la boucle de la tâche qu'il réalise à l'aide de la machine.

³ce qui aujourd'hui ne peut s'envisager que sur des véhicules de collection.

4.3.3.2 Une classification des systèmes d'automatisation de la conduite

En conduite automobile, les projets en lien avec l'automatisation sont nombreux, certains portant sur l'automatisation partielle et d'autres sur l'automatisation totale. Une automatisation partielle peut correspondre à une automatisation d'une partie de la conduite (ex. le contrôle latéral, si l'on imaginait un véhicule dépourvu d'un volant), ou encore l'automatisation complète de la conduite mais dans des contextes bien définis (ex. dans un espace confiné de type parking souterrain, sur une portion autoroutière dédiée). Dans ce contexte, l'Organisation Internationale de la Normalisation (ISO) a depuis plusieurs années formée des groupes de travail sur la thématique de l'automatisation de la conduite avec une volonté forte d'aboutir à une standardisation via des normes. Dans cette lignée, on trouve aujourd'hui des classifications des systèmes d'automatisation de la conduite, notamment aux USA et en Allemagne.

La classification américaine de la *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) pour les systèmes de conduite automatisée est présentée dans [Reimer, 2014]. Cette classification comporte 5 niveaux répartis de 0 à 4 :

- Le niveau 0 correspond à des systèmes qui apportent de l'information au conducteur, sans aucune prise de contrôle du véhicule (ex. systèmes d'alertes pour l'anti-collision, la sortie de voie, ou la détection d'obstacles dans l'angle mort).
- Le niveau 1 regroupe des systèmes proposant un contrôle automatisé d'une fonction primaire de la conduite pour une sécurisation du déplacement sur une période de temps donnée ou d'un ensemble de fonctions indépendantes (ex. ESP, régulateur de vitesse adaptatif, système de freinage d'urgence, système de maintien dans la voie).
- Les systèmes de niveau 2 sont capables de prendre en charge deux fonctions ou plus dans le but de diminuer l'exigence de leur réalisation pour un conducteur. Le conducteur peut céder le contrôle à l'automate dans certaines situations, mais il reste responsable de la conduite en étant à même de reprendre la main sans avertissement préalable de la part de l'automate (ex. maintien latéral et longitudinal du véhicule dans les bouchons ou sur l'autoroute).
- Au niveau 3, les systèmes proposeront une automatisation complète (autonomie du véhicule), mais limitée à certaines situations. Le conducteur pourra choisir de céder le contrôle de toutes les fonctions de sécurité à l'automate sous certaines conditions. Le conducteur n'est pas tenu de superviser continuellement la route pendant que l'automate a le contrôle. Aucun dispositif de ce niveau n'existe actuellement sur le marché, notamment du fait de la question de la responsabilité qui n'est pas claire.
- Le niveau 4 correspond à l'automatisation totale, où le conducteur peut être perçu comme un *superviseur passif* qui n'aura qu'à indiquer quelques informations au véhicule, comme la destination à laquelle il souhaite se rendre. Le véhicule sera en charge de toutes les fonctions de sécurité.

Cette classification reflète la conjoncture actuelle dans l'industrie automobile. En effet, les véhicules sont amenés à devenir de plus en plus autonomes⁴. Mais dans cette transition, l'automatisation partielle comporte des enjeux en matière de coopération H-M.

⁴À ce jour, la quasi totalité des constructeurs ont annoncé la commercialisation d'un véhicule autonome dans leur gamme dans des horizons de 3 à 5 ans.

4.3.3.3 Enjeux de Coopération H-M dans l'automatisation partielle de la conduite

Là encore, les enjeux de l'interaction H-M présentés pour les dispositifs d'information et les dispositifs d'alerte restent valables. Néanmoins, la logique coopérative soulève d'autres problématiques, notamment en termes de *répartition des tâches*, de *partage du contrôle*, qui renvoient à la notion de *partage de l'autorité*, ou encore de *partage des responsabilités*. L'aéronautique est un domaine dans lequel l'automatisation a été introduite depuis de nombreuses années, et dont on peut tirer de nombreux enseignements.

D'abord, le principe de [Fitts, 1951], visant à attribuer à la machine (respectivement à l'humain) les fonctions pour lesquelles ils sont les meilleurs n'est pas viable. De fait, cela correspondra à partager les tâches entre deux agents qui travailleraient chacun de leur côté. Or la logique coopérative amène à considérer l'humain et la machine qui réalisent une tâche comme un « *Système Homme-Machine* » [Hoc et al., 2009]. Dès lors, comme insiste [Bellet et al., 2010b] (p.155), cette perspective « *force à considérer qu'il existe une tâche commune à l'homme et à la machine, pour laquelle une répartition des fonctions est nécessaire. En d'autres termes, la « tâche » de la machine ou celle de l'opérateur humain, prises isolément, peuvent n'avoir aucun sens sans les replonger dans la tâche globale. C'est le « système cognitif couplé » dans son ensemble qui devient l'acteur central (c.-à-d. le « joint cognitive system » de [Hollnagel and Woods, 1983, Hollnagel and Woods, 2005])* ».

Le comportement d'un système pourra impacter la *confiance* des utilisateurs dans ce système, et ainsi nuire à son déploiement et à son utilisation. Mais la mise en défaut d'un système peut également provenir d'une mauvaise utilisation, ou une utilisation dans des conditions qui sont hors de son domaine de validité. Les travaux en Psychologie Ergonomique et Ingénierie Cognitive évoquent à ce niveau l'importance du partage d'un *référentiel commun* entre l'homme et l'automate [Hoc et al., 2009]. Pour la conduite, cela implique d'une part que le conducteur soit informé de l'état du système (actif ou inactif), de son fonctionnement et de son domaine de validité (ce qu'il fait et comment il le fait mais aussi ce qu'il ne fait pas). D'autre part, cela suppose que le système soit à même de comprendre le comportement du conducteur pour déterminer plus efficacement si une aide est nécessaire, et le cas échéant, proposer la meilleure solution pour aider.

4.3.4 L'automatisation totale

À son niveau le plus extrême, l'automatisation de la conduite automobile consiste à adopter la logique substitutive, en sortant le conducteur de la boucle. Dans cette logique, le véhicule demanderait au *passager*⁵ de renseigner sa destination avant de prendre en charge l'intégralité des fonctions sécuritaires de la conduite. Mais si tous les véhicules qui circulent sur la route ne sont pas tous autonomes, on peut également qualifier cette automatisation de partielle.

Dans une interview récente⁶ au sujet de l'implication exponentielle des entreprises du secteur technologique auprès de l'industrie automobile traditionnelle, Reimer s'interroge. Il explique que d'un certain point de vue cela est très bénéfique et permet des avancées considérables. Il ajoute néanmoins que si cet élan se fait dans la précipitation, des erreurs pourraient être commises.

⁵hybridation du terme conducteur qui ne serait plus impliqué dans la conduite du véhicule et serait donc passager

⁶<http://agelab.mit.edu/news/nbc-talks-reimer-future-tech-savvy-cars>

De plus, le véritable vide juridique sur la question du véhicule autonome pose un vrai problème qu'il faudra résoudre avant d'envisager une véritable mutation du système routier. Une référence récente évoque cette épineuse question qui accompagne le projet de véhicule autonome en titrant « *Sue my car, not me*⁷ » [Gurney, 2013].

Ce que nous cherchons à souligner ici concerne le fait que la route 100% automatisée, qui suppose une vision du conducteur hors de la conduite est encore loin, et notre approche se positionne comme une alternative intéressante dans la période de transition qui est en marche.

4.4 Le monitoring pour des aides à la conduite adaptatives

Il est nécessaire de combiner les résultats obtenus par les recherches orientées sur le véhicule, et sur le conducteur dans l'objectif de concevoir des aides à la conduite avancées. En effet, ces dispositifs doivent nécessairement interpréter les comportements des conducteurs dans le but d'inférer leurs intentions en temps-réel [?]. Cette condition *sine qua non* comprend cependant des difficultés importantes pour être mise en œuvre. Par exemple, il n'existe pas de systèmes intégrés complets permettant d'enregistrer un maximum de paramètres liés à la conduite, autres que les données véhicules. On trouve cependant des initiatives visant à coupler un dispositif de mesure très complet permettant, en temps réel, d'interagir avec le conducteur au travers de différentes modalités (tableau de bord numérique dans lequel on peut intégrer de nouvelles informations visuelles, possibilité d'émettre d'autres stimuli visuels ou sonores) [Pérez et al., 2010]. On trouve également des initiatives de recherche qui s'intéressent au Monitoring de l'activité de conduite à partir d'un *In-Vehicle-Device-Recorder* (IVDR) qui se base sur un système d'évaluation de la conduite [Toledo et al., 2008].

Nous pouvons également souligner le principe de *soft protection* et *hard protection* dans la prise de contrôle du véhicule [Inagaki and Itoh, 2007]. La première logique consiste à corriger l'interprétation que se fait le conducteur de l'environnement de circulation (ex. en durcissant légèrement la direction lors d'une amorce de changement de voie alors qu'un véhicule arrive à allure soutenue dans l'angle mort). La seconde consiste en une action plus autoritaire visant à empêcher une collision imminente (ex. en durcissant fortement la direction voire en maintenant automatiquement le véhicule dans la voie dans la situation citée précédemment).

4.4.1 Monitoring et Adaptativité

Le concept de monitoring tient sa source du domaine médical, où il est défini comme « *une technique de surveillance électronique, aux moyens de capteurs enregistrant différents paramètres et de systèmes d'alarme se déclenchant en cas d'écart des valeurs physiologiques* »⁸. Cette surveillance est effectuée en continu ou à intervalles rapprochés, à partir de mesures de paramètres ou enregistrements de phénomènes divers (comme les battements cardiaques). Au sens technologique, le monitoring correspond à « *une technique de surveillance de systèmes complexes, assistée par ordinateur* ». Le terme moniteur quant à lui renvoie en informatique à un « *dispositif permettant de mesurer et contrôler les performances d'un système* », notamment de façon « *temps-réel pour les applications de contrôle de processus* ». Transposé à la problématique de l'assistance à la conduite automobile, le monitoring renvoie à l'idée d'observer et d'analyser en temps réel

⁷ que l'on pourrait traduire par « *punissez ma voiture, je n'y suis pour rien* »

⁸ Le nouveau Petit Robert. Dictionnaires le Robert, 1993. *Moniteur, Monitoring, Monitoring*, page 1430.

l'activité du conducteur, afin de repérer des difficultés et ou/des erreurs de conduite nécessitant l'intervention d'une assistance [Inagaki, 2007]. Pour concevoir de telles fonctions de monitoring, il est nécessaire de disposer d'indicateurs comportementaux et situationnels permettant de juger de l'adéquation de l'activité du conducteur, au regard des conditions de conduite. Dans un second temps, ces indicateurs pourront alors être utilisés par des algorithmes d'analyse en temps réel de l'activité afin de diagnostiquer des difficultés ou des erreurs, et d'activer alors des aides à la conduite susceptibles de les pallier [Bellet et al., 2011].

Dans l'industrie automobile, le monitoring de la conduite est une approche récente dans le domaine des systèmes de transports intelligents qui se focalisent sur le développement d'*assistances adaptatives*. Pour une assistance, l'adaptativité concerne la capacité à adapter l'aide au contexte de conduite courant, et aux besoins spécifiques du conducteur dans ce contexte, en prenant en compte l'*état* de ce conducteur, à un instant donné [Bellet et al., 2011]. Dans le cadre de nos travaux, l'adaptativité est ce que l'on vise et le monitoring est le moyen d'y arriver.

4.4.2 Le monitoring appliqué à la conduite automobile

Dans [Coughlin et al., 2011], les auteurs présentent un schéma global des dimensions auxquelles doit s'intéresser un système de co-pilotage pour analyser en temps-réel l'activité de conduite (figure 18).

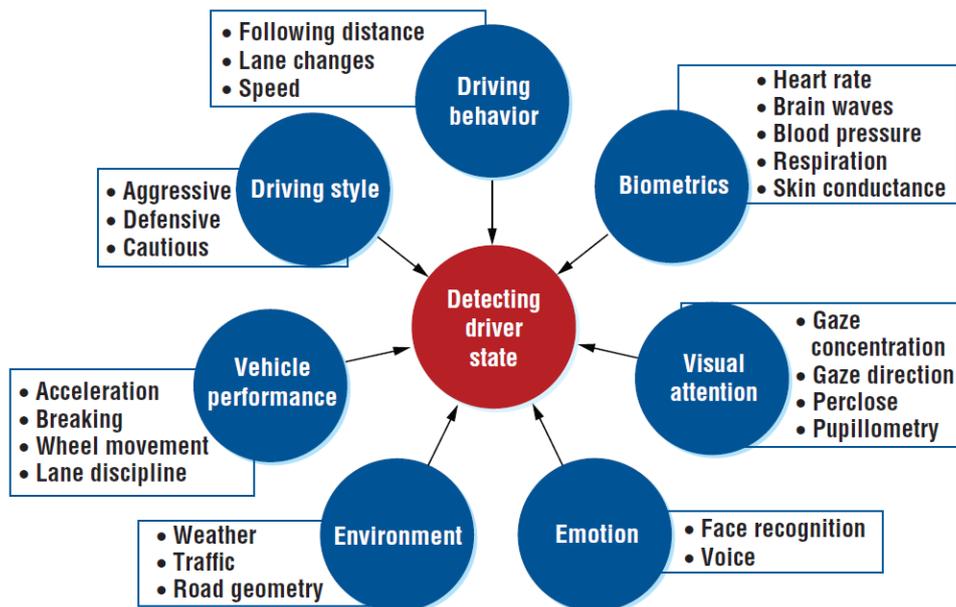


FIGURE 18 – Dimensions à intégrer dans un système de supervision embarquée de l'activité de conduite (de [Coughlin et al., 2011])

Une telle architecture inclut évidemment des mesures en provenance des trois agents que sont le conducteur, le véhicule et l'environnement. Ces mesures concernent les données physiologiques, les émotions, l'attention visuelle, le comportement et le style de conduite, l'environnement et la dynamique du véhicule. Pour Coughlin, toutes ces mesures doivent permettre de diagnostiquer le *driver state*, afin de lui prodiguer une information qui va lui permettre d'améliorer sa conduite.

4.4.3 Exemple d'application du monitoring à l'état du conducteur

Quand on s'intéresse au terme de *driver state*, on trouve un grand nombre de travaux qui sont centrés sur l'*état du conducteur*, mais principalement sous l'angle de la détection de l'hypovigilance (active ou passive). L'hypovigilance active relève d'un état distractif, et l'hypovigilance passive relève d'un état de fatigue voire d'endormissement. Dans ce domaine de recherche, Continental a notamment été pionnier avec le développement d'un système de *Driver Monitoring System* (DMS), basé sur la fusion de données vidéo, de contrôle du volant, et de position latérale du véhicule visant à alerter le conducteur en cas d'endormissement (voir [Boverie et al., 1998], [Boverie and Giralt, 2008]). La figure 19 présente un exemple de diagnostics produits par le DMS, en comparaison avec des mesures provenant d'un EEG.

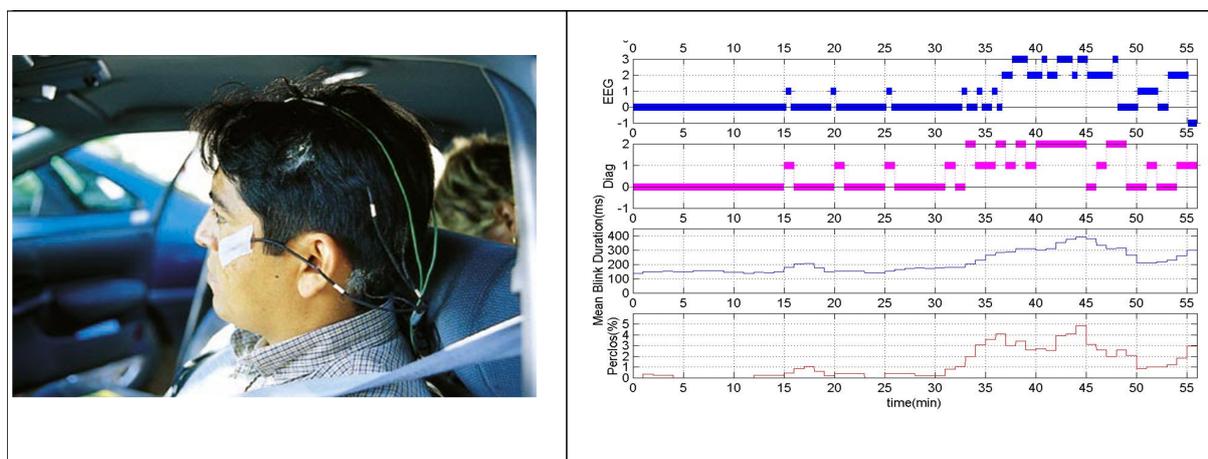


FIGURE 19 – Exemple de diagnostics d'hypovigilance du dispositif DMS et comparaison avec des mesures d'EEG (extrait de [Boverie and Giralt, 2005])

Notre démarche se rapproche de l'acceptation de *driver state* au sens de Coughlin. En effet, le monitoring de l'*état du conducteur* au sens de sa disponibilité ou de son niveau de vigilance constitue un ensemble d'informations que nous intégrons dans une logique plus globale de monitoring de l'activité de conduite.

4.4.4 Du monitoring au co-pilotage

Les différents exemples de fonctions de monitoring que nous venons de présenter ne constituent qu'une partie des possibles. On pourrait y adjoindre d'autres fonctions, appliquées à l'éco-conduite, par exemple [Barbé and Boy, 2006]. Toutefois, dans la perspective à long terme de conception de futurs E-ADAS pour les seniors, il conviendrait aussi de se préoccuper de la question de l'intégration des ces fonctions de monitoring et, au-delà, des systèmes d'assistance eux-mêmes. A l'heure actuelle, la plupart des dispositifs d'aide sont conçus, développés, voire implantés dans les véhicule indépendamment les uns de autres (notamment s'il ne s'agit pas d'équipements d'origine). Mais cette logique cumulative de l'assistance, conçue comme une juxtaposition de systèmes autonomes, touche vite ses limites. À l'autre bout de la chaîne, en effet, il n'y a qu'un seul conducteur dont l'attention doit se porter en priorité sur la route, et pour lequel l'intégration des assistances est une nécessité.

4.4. Le monitoring pour des aides à la conduite adaptatives

Comme le soulignent [Bellet et al., 2011], « dans l'idéal, il conviendrait de concevoir d'emblée ces assistances en synergie les unes avec les autres : un régulateur de vitesse gagnerait beaucoup à se prolonger d'une fonction anti-collision, par exemple (...), et ceci serait d'autant plus pertinent que ces deux fonctions d'assistance, artificiellement dissociées du point de vue technologique, s'inscrivent de fait en continuum du point de vue de l'activité humaine. Toutefois, cela n'est pas forcément facile à mettre en place sur le plan industriel (...). Rien n'interdit, en revanche, de procéder d'une façon plus pragmatique fondée sur une logique d'intelligence distribuée, en coiffant les dispositifs d'assistance de premier ordre d'une méta-fonction de co-pilotage, conçue comme une couche intégrative en charge de garantir une coordination efficace des aides à la conduite et de favoriser une coopération harmonieuse avec le conducteur ».

Selon ces auteurs, cette dimension intégrative d'un copilote automobile devrait également se compléter d'une dimension adaptative : « tous les conducteurs n'ont en effet pas forcément besoin d'être assistés de la même façon, ni au même moment. La machine se doit donc d'être à l'écoute de l'opérateur humain, tout en prenant en compte les exigences de la situation de conduite. In fine, il s'agit d'apporter une aide contextualisée soucieuse des besoins effectifs et des difficultés potentielles que rencontre le conducteur à l'instant t » [Bellet et al., 2010a]. Qui plus est, le développement d'un copilote invite également à dépasser le cadre strict de l'Interaction Homme-Machine et à inscrire la relation entre le conducteur humain et la technologie dans le cadre d'un véritable partenariat [Bellet et al., 2003].

Ce partenariat implique que les deux entités en charge de la conduite associent leurs efforts et leurs compétences en vue d'atteindre un objectif commun adapté au contexte de conduite du moment. Cela suppose que la technologie soit à même d'analyser ce contexte et d'adapter son assistance en conséquence. Cela implique, par ailleurs, des capacités d'observation, d'interprétation et de communication avec le conducteur afin d'assurer la bonne coordination des efforts respectifs visant l'atteinte de cet objectif commun. En d'autres termes, un copilote se doit d'être coopératif.

Sur la base de cette analyse, [Bellet et al., 2003] proposent une architecture générique sur laquelle pourrait reposer un copilote automobile (figure 20). L'objectif serait de déboucher sur un dispositif intégré capable de coordonner l'ensemble des systèmes d'aide à la conduite (ADAS).

Dans cette architecture, « les entrées du copilote sont constituées de données en provenance de l'environnement, du conducteur et du véhicule. Les sorties du copilote peuvent correspondre à la diffusion d'informations (via les interfaces H-M) ou à la mise en œuvre d'actions sur le véhicule (via les fonctions de contrôle-commande). Le cœur du dispositif est composé d'un (ou plusieurs) reflet(s) de la situation, en charge de décrire le contexte de conduite du moment, et d'un (ou plusieurs) reflet(s) du conducteur, en charge de représenter le partenaire humain. Ces reflets, sont élaborés en temps réel à partir des données provenant de l'environnement, du conducteur, et du véhicule.

Enfin, un copilote doit disposer d'un Gestionnaire centralisé des Interactions Homme-Machine. À partir de diagnostics issus de l'analyse des reflets humain(s) et situationnel(s), ce module a pour fonction d'assurer la coordination et l'adaptation des assistances au regard de l'état, des difficultés rencontrées et des besoins ponctuels du conducteur humain. Siège du savoir coopérer, son rôle est de superviser les systèmes d'aide de premier ordre, en contrôlant leurs modalités d'interaction avec le conducteur.

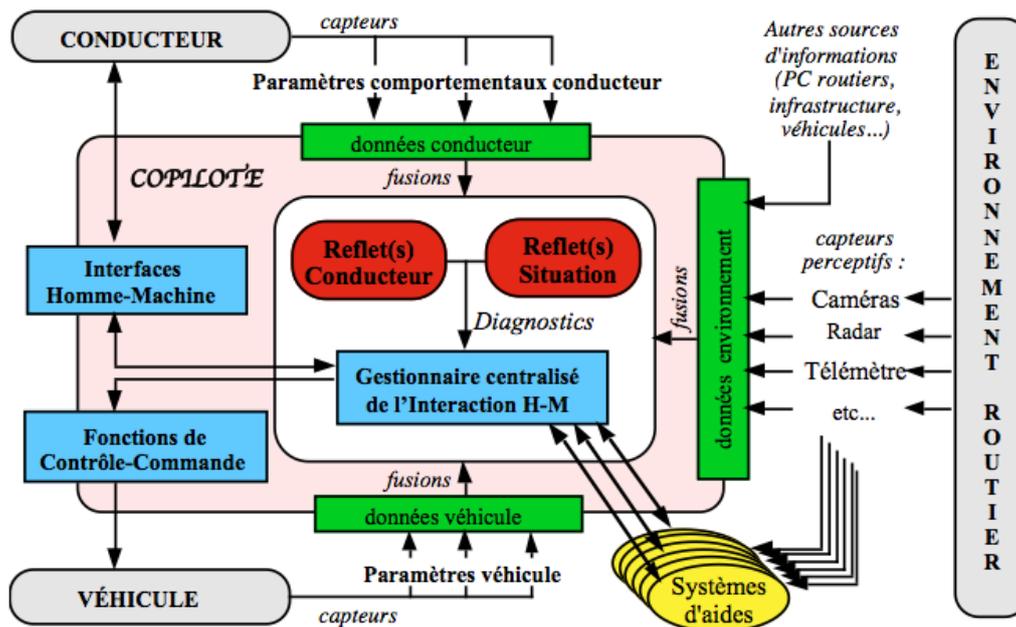


FIGURE 20 – Architecture fonctionnelle d'un copilote intégré [Bellet et al., 2011]

Mais on peut aussi envisager qu'il oriente les raisonnements de ces ADAS (en assistant leurs algorithmes de traitement ou leurs fonctions de décision, par exemple) voire, qu'il prenne l'initiative de les activer, si la situation de conduite l'exige.

4.5 Aides à la conduite et conducteurs âgés

La dernière section de ce chapitre se focalise plus précisément sur la population des conducteurs âgés et les aides à la conduite. Il s'agit de questionner l'apport potentiel des systèmes d'aides à la conduite et de repositionner la logique du monitoring pour la contribution au développement de futures assistances à la conduite de la personne âgée.

Dans une synthèse des difficultés rencontrées par les conducteurs âgés, [Davidse, 2006] identifie 4 grands principes d'assistances qui pourraient soutenir l'activité des seniors au volant afin d'améliorer leur sécurité :

- signaler des objets qui se trouvent dans l'angle mort du conducteur,
- attirer l'attention du conducteur sur la circulation à proximité du véhicule,
- aider le conducteur à diriger son attention sur les informations pertinentes et appropriées de la situation,
- fournir des informations sur la situation de conduite à venir (conditions de circulation, infrastructure)

Dans le cadre de la tâche 3 du projet SAFEMOVE auquel nous prenons part, une synthèse sur l'apport potentiel des aides à la conduite pour les conducteurs âgés a été proposée [Chin et al., 2013]. Le tableau présenté figure 21 provient de ce document.

4.5. Aides à la conduite et conducteurs âgés

Older drivers characteristics and difficulties/functions	Consequences on driving performance and traffic scenarios	Accidents risk¹	Support functions and examples of assistance systems
Visual Perception: - Decline of vision - Difficulty to see contrast at night - High glare sensitivity - Difficulty to perceive objects with low salience	- Less aware about other road users - Difficulty to drive at night and under poor weather conditions - Difficulty to perceive pedestrians, far objects - Difficulty to perceive road signs in some brightness conditions	- Low rate of accidents at night (older drivers adapt by avoiding driving at night) - High risk of misperception of information with low salience	Perception Supports: - Blind spot - Obstacle detection - Night vision - Weather report - On-board road signs and/or traffic information strengthening
Situation Awareness: - Difficulty to select and to integrate all relevant pieces of information - Difficulties to build and update mental models	- Difficulty to build comprehensive mental models of complex traffic situations - Difficulty to understand unfamiliar road infrastructures	- Risk of erroneous SA in complex or new environments - Inappropriate or critical behaviours - Involuntary risk taking	SA Enhancement Supports: - Mental model support for complex traffic situation - Speed limit awareness - Aids for atypical or new road infrastructure understanding
Decision Making: - Difficulty to estimate distance and speed of other road users, - Difficulty to anticipate - Longer reaction time	- Take longer time to make decision and to cross T-junctions; - Select unsafe gaps - Failure to yield - Difficulty to overtake - Difficulty to react fast	High rate of accidents at intersections (and high criticality), more particularly for turning left manoeuvres and T-Junction crossing	Decision-Making Supports: - Aids for interactions with others (e.g. selecting gap at intersection) - Forward collision warning system at intersection - Tuning of systems giving information or warning early
Head and body Movements: - Decrease of neck flexibility, - Declines of sensorial-motor skills and of body agility as a whole	- Difficulty to park - Difficulty for changing lane, Highway insertion - Difficulty to overtake - Difficulties to perform some complex driving manoeuvres under time pressure	- Rare crashes in merging situations - No information for changing lane and parking (low criticality) crashes	Manoeuvres and Perceptive Skills Supports: - Parking aids - Vehicle automation (lateral and cruise control) - Blind spot - Changing/merging lane aid (e.g. highway insertion)
Attention: - Difficulty to share attention - Difficulty to perform simultaneous tasks - Difficulty to perform new complex tasks	- Difficulty to drive through intersections - Difficulty to navigate in unfamiliar environment (adapt by choosing well-known route)	Risk of critical behaviours (ex: late direction changing) or to neglect important pieces of information in complex situations	Distraction avoidance and Navigation Supports: - Navigation system Traffic report online - Distraction monitoring - Head-up display - Lane departure warning - Intelligent cruise control
Drowsiness: More sensitive to sleepiness/drowsiness	More prone to have sleepiness symptoms during long journey	No specific data available for older drivers	Drowsiness / Sleepiness Warning
Under-Confidence (for some drivers)	Currently Investigated in SAFEMOVE (SP1 literature survey)	No data currently available (SAFEMOVE topic)	Driving activity supports as a whole (SAFEMOVE issue), as specifically adapted for older drivers from monitoring technologies
Over-Confidence (for some drivers)	Currently Investigated in SAFEMOVE (SP1 literature survey)	No data currently available (SAFEMOVE topic)	Risk Awareness Supports: Monitoring-based alerts of drivers' errors, inadequate behaviours or critical risk taking (SAFEMOVE issue)

FIGURE 21 – Relation entre les atteintes liées au vieillissement et leurs conséquences, et les besoins en assistance à la conduite (de [Chin et al., 2013])

Ce tableau reprend les caractéristiques et les difficultés des conducteurs âgés sous l'angle des fonctions cognitives. Ces caractéristiques se traduisent en conséquences sur l'activité de conduite. En s'appuyant sur la revue de la littérature portant sur l'accidentologie routière des seniors réalisée par le sous-projet 2 [Lallemant et al., 2013], ces conséquences sont traduites en risques d'accident. Enfin, au regard de ces trois dimensions, il propose des fonctions supports à privilégier pour assister les conducteurs seniors.

Les fonctions support qui sont identifiées sont les suivantes :

- **fonction d'aide à la perception**, incluant la surveillance de l'angle mort, la détection d'obstacle, la vision nocturne ou la signalisation embarquée ;
- **fonction d'amélioration de la conscience de la situation**, incluant l'élaboration d'un modèle mental adéquat dans les situations complexes, la conscience des limitations de vitesse, la compréhension de l'infrastructure ;

- **fonction d'aide à la décision**, incluant l'aide à la sélection d'un créneau inter-véhiculaire sécuritaire, l'anti-collision en intersection (ex. pour les tourne-à-gauche) ;
- **fonction de support aux habiletés perceptives et opérationnelles en manœuvre**, incluant l'aide au stationnement, l'automatisation partielle (aide au contrôle latéral et longitudinal), par exemple en situation d'insertions sur voies rapides ;
- **fonction de limitation de la distraction et d'aide à la navigation**, incluant le monitoring de la distraction et des fonctions de navigations avancées (horizon électronique, head-up display, etc.) ;
- **fonction de détection de l'hypovigilance et de l'endormissement** ;
- **soutien global à l'activité de conduite**, en s'appuyant sur la logique de monitoring, pour les conducteurs qui manqueraient de confiance en eux ;
- **aide à la prise de conscience des risques**, s'appuyant également sur la logique de monitoring mais dans le but d'alerter les conducteurs sur certaines erreurs, certains comportements inadéquats, ou une prise de risque jugée critique.

Cette dernière section souligne les apports potentiels des systèmes d'assistance embarqués. Néanmoins, la problématique d'assistance se pose dans un cadre spécifique pour les conducteurs âgés. Rappelons également qu'il est difficile d'anticiper l'acceptabilité et la confiance qu'auront des utilisateurs dans un système d'aide [Lee and See, 2004], et cet effet a tendance à s'amplifier avec l'âge [Ho et al., 2005]. Par conséquent, il apparaît d'autant plus nécessaire d'identifier les besoins spécifiques en assistance de cette population de conducteurs. Notre approche s'inscrit dans la lignée de ce pré-requis.

4.6 Conclusion synthétique

Dans le cadre d'une communication au Transport Research Arena 2014, nous avons proposé le terme de *Senior Adapted Driving Assistance Systems* (S-ADAS) pour définir les futures assistances qui pourront être développées spécifiquement pour les âgés [Paris et al., 2014]. Notre ambition n'est pas de concevoir de tels systèmes mais de contribuer à leurs spécifications ergonomiques à partir des résultats que nous obtiendrons à l'issue de l'analyse de l'activité des conducteurs âgés, en situation écologique de conduite. Puisque *in fine*, les fonctions de monitoring ont pour ambition d'être embarquées dans un véhicule, sur un support électronique, nous proposons de jouer sur le « E » de *Elderly* et *Electronic* pour définir le terme de *Elderly Adapted Driving Assistance Systems* (E-ADAS) [Paris et al., itre].

Concevoir des systèmes adaptés aux besoins spécifiques des conducteurs âgés est le premier critère à satisfaire, grâce à l'approche ergonomique. Dans un second temps, ces systèmes devront satisfaire un critère d'adaptabilité (i.e. d'adaptation temps réels) aux besoins contextuels des conducteurs séniors afin de garantir un couplage optimal entre le conducteur et l'assistance. Pour cela, il est nécessaire de s'orienter vers une solution technique qui confère à ces systèmes un reflet de l'activité du conducteur (i.e. un modèle d'analyse de l'activité au sens d'une brique technologique). Cette analyse de l'activité devra par essence être contextualisée, ce qui suppose de disposer d'informations en provenance de l'environnement routier, ce qui est d'ores et déjà possible avec certaines technologies actuelles ou en cours de développement.

Conception centrée sur l'humain de fonctions de monitoring : de la problématique à la démarche méthodologique en cognitive

À partir de la revue de la littérature réalisée dans les quatre précédents chapitres, nous allons à présent reformuler plus précisément nos objectifs et notre problématique de recherche, ainsi que définir notre démarche méthodologique en Cognitive, issue à la fois de l'Ergonomie et de l'Ingénierie Cognitive.

Ce chapitre s'organise en 4 sections :

- Tout d'abord, nous présenterons les fondements théoriques du *Human Centred Design* (i.e. conception centrée sur l'humain) en nous référant aux travaux de G. Boy, démarche conceptuelle que nous déclinons ensuite à nos propres objectifs, en vue de l'appliquer à la problématique de la conception centrée sur le conducteur âgé de futures fonctions de monitoring.
- Fort de cet ancrage théorique, nous pourrions alors reformuler notre problématique et nos objectifs de recherche en termes de « Cognitive », puis introduire ensuite notre méthodologie générale, combinant à la fois un volet ergonomique, centré sur l'analyse de l'activité située, et un volet d'ingénierie cognitive, centré sur le développement d'algorithmes d'analyse et de supervision en temps réel de cette activité (i.e. les fonctions de monitoring).
- La troisième section nous permettra de présenter de manière plus détaillée la démarche ergonomique que nous allons adopter dans le cadre de cette thèse, visant tout d'abord à observer et à enregistrer l'activité de conduite de conducteurs âgés au volant d'un véhicule instrumenté immergé dans le trafic routier, puis à enrichir ce corpus de données objectives d'un corpus de données subjectives, collectées au moyen d'entretiens et de questionnaires.
- Enfin, dans la dernière section, nous présenterons le volet méthodologique du point de vue de l'Ingénierie Cognitive, qui reposera sur l'analyse et l'exploitation des données expérimentales collectées durant la phase précédente. Après avoir produit le synoptique général de notre démarche d'analyse pour la Cognitive, nous présenterons les travaux de préparation, de prétraitement et de capitalisation des données expérimentales collectées sur route, afin d'en permettre leur exploitation ultérieure à des fins de conception centrée sur l'humain de fonctions de monitoring embarquées.

5.1 L'approche du « *Human-Centered-Design* »

Comme le souligne [Boy, 2003], « *la conception centrée sur l'homme consiste à prendre en compte les besoins des utilisateurs, en particulier par des tests d'utilisabilité progressifs sur des prototypes* » (p.45). C'est une démarche de conception « *nécessairement itérative (articulée) autour du triangle Artéfact-Utilisateur-Tâche* ». L'artéfact (A) est un système, avec lequel l'utilisateur (U) réalise une tâche (T). Appliqué à notre propre problématique de recherche, l'artéfact correspondra au véhicule et/ou aux systèmes d'aides à la conduite, l'utilisateur sera le conducteur âgé, et la tâche sera la tâche de conduite. Si la mise en relation de ces trois entités est relativement commune en ergonomie, les travaux de G. Boy [Boy, 2003, Boy, 2011, Boy, 2013] en Ingénierie Cognitive permettent de compléter ce triangle de deux dimensions complémentaires, débouchant ainsi sur la pyramide « AUTOS ».

5.1.1 La pyramide AUTOS de G. Boy

Selon Boy, en effet, les interactions « A-U-T » sont influencées par l'environnement Organisationnel (O) dans le cadre duquel s'exerce l'activité de l'opérateur. Cet environnement organisationnel inclut tous les *agents* en interaction avec l'utilisateur (qu'il s'agisse d'autres humains ou d'automates). En outre, ces interactions dépendent également de la situation (S) dans laquelle l'opérateur produit son activité. À partir de ces 5 composants et de leurs interactions, [Boy, 2003] propose ainsi un *cadre de rationalisation pour conduire une démarche de conception centrée sur l'homme* qu'il représente à l'aide d'une pyramide, nommée AUTOS (figure 22).

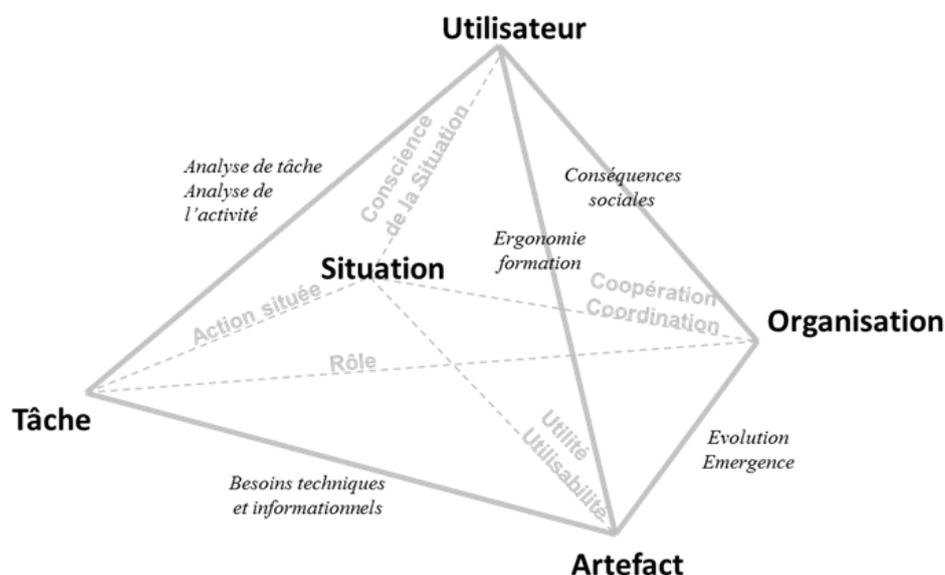


FIGURE 22 – Pyramide AUTOS : 5 composants d'un système homme machine (adapté de [Boy, 2011] - à partir du dessin de [Millot, 2013])

Outre les 5 pôles « AUTOS », cette pyramide insiste aussi sur les relations inter-pôles, en termes d'interaction, d'analyse requise et de dimensions à prendre en compte pour la Conception Centrée sur l'Humain. Le tableau page suivante reproduit les relations « A-U-T-O-S » telles qu'elles sont définies dans Boy (2003 et 2011).

5.1. L'approche du « *Human-Centered-Design* »

Si l'on se place au niveau de l'*Utilisateur* (cellules jaunes dans le tableaux), la problématique de l'interaction avec l'artéfact intègre l'*ergonomie* de cet outil et la *formation* de l'utilisateur. L'usage qu'il fera de cet artéfact à travers son *activité* en situation (*action située*) dépendra de la *tâche* (prescrite et effective) et de la *conscience* qu'aura l'opérateur de la situation d'usage, ainsi que de *facteurs sociaux* induits par son *environnement organisationnel*.

Si l'on se place à présent au niveau de l'*Artéfact* (cellules bleues dans le tableaux), sa conception dépendra de l'offre et des limites des technologies du moment ainsi que des exigences techniques et informationnelles de la tâche allouée à l'opérateur (ou au système Homme-Machine dans son ensemble), et son utilité comme son utilisabilité seront fonction des conditions d'usage « en situation ».

Pour ce qui est de l'*environnement organisationnel*, il favorise l'*émergence* de nouveaux artéfacts (susceptibles de provoquer en retour des évolutions de l'organisation), contribuant ainsi à la définition de nouvelles tâches pouvant « *entraîner la naissance de nouveaux métiers (...)* renvoyant à *de nouveaux rôles (...)*; *les utilisateurs de l'artéfact pouvant* [en outre] *mettre en évidence des problèmes sociaux dans l'accomplissement de la tâche* » [Boy, 2003] (p.47).

	Organisation	Tâche	Situation	Artefact
Utilisateur	Facteurs et Conséquences Sociales	Analyse Tâche, Analyse Activité	Conscience de la Situation	Ergonomie et Formation
Organisation		Analyse des Rôles et Métiers	Coopération Coordination	Emergence, Evolution
Tâche			Action Située	Exigences Techniques et Informationnelles
Situation				Utilité et Utilisabilité

Ainsi définie, la pyramide AUTOS constitue un cadre méthodologique solide pour la conception d'artéfacts centrée sur les besoins de l'utilisateur et sur la nature des tâches que l'opérateur devra réaliser via son activité, tout en prenant en compte la complexité multi-dimensionnelle des situations d'usage et des environnements organisationnels humains dans lesquels devra s'inscrire cette activité instrumentée.

Cette méthodologie a plus spécifiquement été appliquée dans le domaine aéronautique ou pour la conception de systèmes dynamiques complexes et fortement automatisés, qu'un ou plusieurs opérateurs sont en charge de superviser. Dans ce contexte, comme le souligne Boy, « l'ingénierie cognitive vise à *permettre à un opérateur humain ou à une équipe d'opérateurs humains, de contrôler le système à l'intérieur d'une enveloppe de sécurité acceptable, et de pouvoir récupérer lorsque le fonctionnement du système sort des limites acceptables* ». Pour ce faire, « *les opérateurs doivent rester conscients de la situation, et avoir accès aux commandes nécessaires pour contrôler correctement le système au bon moment* ». Dès lors, il est essentiel de « *fournir les bonnes informations au bon moment et sous le bon format afin que les opérateurs puissent les utiliser, et éventuellement les transformer, pour satisfaire leurs objectifs* » [Boy, 2003] (p.45).

Si cette démarche du « Human Centred Design » définie par Boy émane d'un domaine d'application différent du notre, elle n'en demeure pas moins toute aussi pertinente dans le contexte de notre propre recherche consacrée aux conducteurs âgés et à leur assistance en situation de conduite automobile. En effet, cette approche est mise en œuvre dans le cadre des *Life Critical*

Systems ou LCS (traduit par *systèmes critiques pour la sécurité* par [Millot, 2013]) et la conduite automobile fait partie des *systèmes à risques* [Amalberti et al., 2005]. C'est pourquoi la section suivante vise à instancier cette approche AUTOS à notre propre problématique de recherche.

5.1.2 Instanciation de l'approche *AUTOS* à nos propres objectifs

Dans notre cas, l'objectif à long terme de nos travaux est de concevoir des fonctions de monitoring, puis d'assistance, adaptées aux besoins spécifiques des conducteurs âgés, en vue de soutenir les seniors dans la conduite et de permettre ainsi le maintien du système « Conduc-teur Agé-Véhicule-Situation » dans une enveloppe sécuritaire acceptable, du point de vue de la sécurité routière. Il s'agira aussi de les aider à récupérer les situations en cas sortie de ces « limites acceptables » (via des diagnostics d'erreur ou de risque), en soutenant (améliorant) leur prise d'informations, leur conscience de la situation, et leurs actions de conduite (accès aux commandes), en fonction du contexte, des besoins et des difficultés rencontrées en situation.

Ainsi appliquée à notre démarche, la pyramide AUTOS peut être reformulée de la façon suivante. L'*utilisateur* est le *conducteur âgé*, la *tâche* au niveau générique correspond à l'ensemble des tâches impliquées en *conduite* automobile, et l'*artéfact* correspond à un *véhicule* équipé de systèmes d'aide à la conduite, ou *ADAS* (à terme, nos travaux visent à définir et à concevoir des fonctions embarquées de monitoring des conducteurs seniors, permettant ainsi de faire évoluer ces ADAS vers des E-ADAS - pour Elderly-Adapted Driving Assistance Systems).

Enfin, du point de vue organisationnel, nos travaux visent une portée à 2 niveaux, qu'il nous semble important de distinguer : un niveau plus situationnel, correspondant à l'intégration sécuritaire des conducteurs âgés au sein du *Système Routier* (sous l'angle de leurs interactions avec les autres usagers et de leur intégration dans le trafic routier), et un niveau plus *Sociétal* se préoccupant du maintien de l'autonomie des seniors et de leur auto-mobilité. La figure 23 propose une instanciation de la pyramide AUTOS, ainsi appliquée à notre propre problématique de conception.

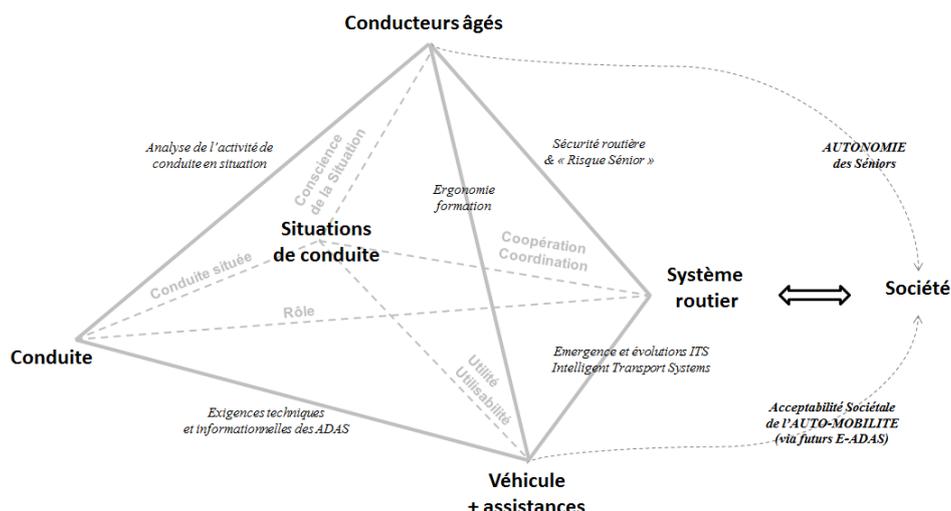


FIGURE 23 – Instanciation de la pyramide AUTOS pour notre démarche

Si l'on poursuit plus avant ce travail d'instanciation, il convient aussi de préciser les relations unissant les différents sommets de cette pyramide, ce que synthétise le tableau suivant.

5.1. L'approche du « *Human-Centered-Design* »

	Organisation :		Tâche : de Conduite	Situation : de Conduite	Artefact : (Véhicule & ADAS)
	Société	Système Routier			
Utilisateur : Conducteurs Séniors	Conséquences Sociales et d'Interactions		Analyse Tâche et Activité de Conduite des Séniors	Conscience de la Situation de Conduite des Séniors	Ergonomie et Formation : (Conduite & ADAS)
	Autonomie des Séniors	Sécurité Routière & « <i>Risque Senior</i> »			
Organisation: Système Routier			(Analyse des Rôles et Métiers) Analyse des Usages et des Usagers de la Route	Coopération Coordination: Interactions Inter-Usagers (Inter-ADAS)	Emergence et Evolution des ADAS & ITS* (* <i>Intelligent Transport Systems</i>)
Organisation: Société			Automobilité « Légale » des Séniors	Automobilité « Pratique » des Séniors	Acceptabilité Sociale des ADAS
Tâche de Conduite				Action Située: Conduite « <i>in Situ</i> »	Exigences Techniques et Informationnelles des ADAS
Situation de Conduite					Utilité et Utilisabilité des ADAS en conduite

Les trois cellules roses correspondent à des dimensions non considérées dans les travaux de G. Boy, résultant de la scission de l'environnement organisationnel que nous avons précédemment proposée, distinguant le niveau plus local et situationnel que représente le système routier (pour lequel se posent les problèmes de sécurité routière du point de vue des interactions du conducteur âgés avec les autres usagers de la route), et le niveau plus sociétal renvoyant quant à lui aux enjeux « d'Autonomie » des séniors et « d'Automobilité » des conducteurs âgés, soit d'un point de vue « Légal » (i.e. lois autorisant ou non la « tâche de conduite » aux séniors et/ou imposant une évaluation préalable de leurs capacités, par exemple), soit d'un point de vue plus « Pratique », renvoyant ici aux stéréotypes et à l'acceptabilité, par autrui, de la présence de conducteurs âgés sur les routes.

Si l'on se place à présent au niveau du conducteur âgé, la problématique de l'interaction avec l'artéfact (Véhicule et ADAS) intègre l'ergonomie des ADAS (et du véhicule) et la formation (à la conduite ou à l'utilisation des ADAS). L'usage que le conducteur sénior fera de ces artéfacts - à travers son activité de conduite en situation (action située) - dépendra de la tâche de conduite prescrite (i.e. telle qu'elle est définie par le code de la route) et effective (correspondant à la façon dont le conducteur âgé s'appropriera ou non, le respect des règles de ce code). Mais cette activité sera également fonction de la conscience qu'il aura de la situation routière dans laquelle il évolue, ainsi que de ses interactions avec les autres usagers de la route (i.e. l'environnement organisationnel en terme de système routier).

Si l'on se situe au niveau des ADAS (et, à terme, des E-ADAS), leur conception est dépendante de l'offre et des limites des technologies du moment et ils doivent satisfaire les exigences techniques (en terme de sûreté et de sécurité de fonctionnement) et informationnelles imposées par les contraintes de la tâche de conduite allouée au conducteur âgé. Leur utilité comme leur utilisabilité sera fonction de l'usage qui sera fait de ces systèmes par les séniors au volant. Pour ce qui est de l'environnement organisationnel sociétal, se pose la question de l'acceptabilité sociale des

ces systèmes d'aide et, sous l'angle du système routier dans son ensemble, la problématique de l'émergence de nouveaux Systèmes de Transport Intelligents susceptibles de provoquer des évolutions sur les situations de conduite et sur le trafic. Mais les ADAS peuvent également provoquer des changements dans les tâches de conduite, faire apparaître de nouvelles pratiques ou de nouveaux groupes d'utilisateurs, ou bien encore modifier les stratégies d'interactions inter-utilisateurs, surtout si l'on se situe dans le cadre de systèmes d'assistance communicants entre eux (V2V).

Si l'on considère à présent la question des fonctions de monitoring que nous visons à spécifier et à concevoir dans le cadre de cette recherche, la pyramide AUTOS nous invite à scinder l'analyse en deux phases : une phase concernant l'intégration des fonctions de monitoring dans les aides à la conduite, afin de faire évoluer les « ADAS » vers des « E-ADAS » (section verte dans le tableau), et une phase portant sur les effets et les conséquences escomptés, via les fonctions de monitoring, une fois que ces E-ADAS seront effectivement disponibles (section rouge dans le tableau).

<i>Pyramide AUTOS instanciée</i>	Conducteur Agé	Fonctions de Monitoring		
		Entrées	Analyse	Apports (pour les E-ADAS)
Utilisateur : Conducteur Agé		Observation du conducteur (état) et de ses comportements	Etat du Conducteur (permanent ou transitoire)	PERSONALISATION des ADAS (Profilage du conducteur et Auto-Apprentissage)
Tâche de Conduite	Analyse Tâche et Activité de Conduite	Exigences de la Tâche de Conduite (ex : code) et Analyse de l'Activité en situation	Adéquation de l'activité du conducteur au regard des Exigences de la Tâche	DIAGNOSTIC d'ERREURS & de DIFFICULTES (Identification temps réel des Besoins en Aide face aux exigences de la tâche)
Situation de Conduite	Conscience de la Situation de Conduite	Observation de la Situation de conduite et estimation des Risques situationnel	Adéquation de l'activité aux exigences du contexte et des risques situationnels	CONTEXTUALISATION de l'AIDE (Modalité de l'Aide en fonction du contexte et des risques situationnels)
CONSEQUENCES techniques et sociétales des Fonctions de MONITORAGE (Via les E-ADAS)				
Artefact (Véhicule + ADAS + Monitoring)	Ergonomie des S-ADAS, Formation des Séniors		ADAPTATIVITE des E-ADAS : Ergonomie « Temps Réel » des ADAS en fonction des besoins des séniors (Activation et modalités d'IHM (Adéquation aux besoins, intuitivité et intelligibilité des ADAS))	
Organisation: Système Routier	Conséquences Sociétales : « Agés et Sécurité Routière »		AUTO-MOBILITE des Séniors: Sécurité routière dans le trafic garantie	
Organisation: Société	Conséquences Sociétales : « Autonomie des Séniors »		AUTONOMIE SOCIALE des Séniors	

Pour ce qui concerne les « entrées » des fonctions de monitoring, elles portent ici plus précisément sur trois composants de la pyramide AUTOS : le Conducteur âgé (dont il s'agira d'observer l'état et d'analyser les comportements), la Tâche et l'Activité de conduite (en vue de vérifier si l'activité du conducteur satisfait bien aux exigences de la tâche), et la Situation de conduite

(afin de s'assurer de l'adéquation de l'activité aux conditions de conduite et aux risques situationnels). Du point de vue de l'apport des fonctions de monitoring au niveau des ADAS (modulo les différentes analyses, ou évaluations en temps réel censées être réalisées par les fonctions de monitoring), elles visent à permettre une personnalisation des ADAS à la conduite et au profil particulier du conducteur âgé, à identifier en temps réel ses besoins spécifiques en assistance (via des diagnostics d'erreurs ou de difficultés) et à permettre d'apporter une aide contextualisée. Cette contextualisation permet alors une aide qui soit ainsi adaptée - dans sa nature comme dans ses modalités d'interaction Homme-Machine - au contexte situationnel et, par voie de conséquence, aux conditions d'usage de l'assistance par le conducteur âgé. On pourrait aussi parler à ce niveau d'« Acception Sociétale » de l'auto-mobilité des seniors modulo l'existence de futurs E-ADAS censés gérer le « risque sénior au volant ».

Pour ce qui concerne les effets des fonctions de monitoring au niveau des E-ADAS, l'enjeu central (considéré dans le tableau comme une « conséquence technique ») peut se résumer sous le vocable générique de l'adaptativité de ces futurs dispositifs d'assistance, et ceci en fonction des besoins spécifiques des seniors et des exigences des situations de conduites auxquelles ils seront confrontés. Au-delà de ces capacités d'adaptativité des E-ADAS, les enjeux plus sociétaux visent d'une part à garantir la sécurité routière pour tous (i.e. l'Auto-mobilité durable des seniors) et, à un niveau plus général, à maintenir l'autonomie des personnes âgées via la conduite d'un véhicule automobile. On pourrait aussi parler à ce niveau d'« Acceptabilité Sociétale » de l'auto-mobilité des seniors, modulo l'existence de futurs E-ADAS capables de gérer le « risque sénior au volant ».

5.2 Problématique et méthodologie *Cognitives* du monitoring

À ce stade de notre réflexion, pour atteindre à long terme les objectifs sociétaux de maintien de l'Autonomie des personnes âgées, via « l'Auto-mobilité Durable » de ce groupes d'usagers de la route (i.e. permettre la conduite automobile des seniors tout en garantissant la sécurité routière pour tous), nous disposons d'une revue de la littérature - ayant permis d'identifier un certain nombre de problèmes, de difficultés et de risques pour la sécurité routière liés au vieillissement - ainsi que d'un cadre méthodologique en Ergonomie (i.e. l'Analyse de l'Activité) et en Ingénierie Cognitive (i.e. la Conception Centrée sur l'Humain) susceptibles d'être mis en œuvre pour la recherche de solutions « Cognitives », fondées sur le monitoring des conducteurs seniors.

5.2.1 Objectifs Cognitifs

La recherche de solutions qu'il va s'agir d'explorer ici s'inscrit en effet dans le cadre de la *Cognitive* (« discipline scientifique et pratique technique, branche de l'informatique, qui a pour objet l'acquisition et la représentation formelle des connaissances et des modes de raisonnement, en vue de leur simulation à l'aide d'ordinateurs » selon Jean-Michel Truong, cité par [Claverie, 2005]), appliquée au co-pilotage automobile (tel qu'il a été défini par [Bellet et al., 2011]). Notre objectif à long terme, à travers la conception de fonctions de monitoring, est en effet de pouvoir doter les futures systèmes d'aides à la conduite de « connaissances » et de « capacités cognitives » leur permettant, d'un côté, d'observer, d'analyser et d'évaluer en temps réel l'activité des conducteurs âgés et, de l'autre côté, de pouvoir gérer des dispositifs d'aide à la conduite (ou ADAS) et adapter leurs modalités d'Interactions Homme-Machine (ergonomie en temps réel) en fonction du contexte situationnel et des difficultés rencontrées par les seniors « en situation ».

L'enjeu de cette thèse est d'apporter une première brique à l'émergence de futurs E-ADAS capables de soutenir le conducteur âgé dans sa tâche de conduite, en lui permettant ainsi de rester au volant en toute sécurité, en dépit des effets négatifs induits par le vieillissement. À cet égard, on pourrait ainsi concevoir ces futures E-ADAS comme un moyen de s'orienter vers le « Conducteur Augmenté », par analogie avec le concept « d'Homme Augmenté », tel qu'il a été introduit et discuté dans le champs particulier de la Cognitique par [Claverie, 2010].

5.2.2 Monitoring des conducteurs automobile

Dans la continuité des travaux antérieurs du LESCOT consacrés à la conception de systèmes d'assistance adaptatifs pour l'anti-collision (projet ARCOS : Action de Recherche pour une CONduite Sécurisée [Bellet et al., 2011]) ainsi que ceux, plus récents, consacrés à la prévention des risques de sortie de voie (projet PARTAGE, auquel nous avons nous-même contribué directement avant de nous engager dans cette thèse [Bellet et al., 2012b, Bellet et al., 2012c]), la démarche de cognitique que nous nous proposons de poursuivre ici repose sur l'idée générale d'une analyse et d'une supervision en temps réel de l'activité des conducteurs âgés, afin de pouvoir juger de l'adéquation des comportements et/ou de leur performance de conduite au regard des exigences de la tâche (via l'analyse de la situation) de conduite .

En partant de l'architecture du dispositif de gestion adaptative des risques de collision conçue dans le cadre du projet ARCOS [Bellet et al., 2011], nous pouvons proposer une architecture fonctionnelle d'un futur dispositif de monitoring des séniors visant à permettre in fine une gestion adaptative des ADAS (figure 24) en fonction de leurs besoins spécifiques.

Du point de vue de ses « entrées », ce dispositif devra intégrer des informations en provenance de trois sources technologiques :

- Des données issues de capteurs embarqués sur le véhicule permettant de mesurer et d'analyser les actions du conducteur sur les commandes (le volant, les pédales, les clignotants, par exemple, mais on pourrait aussi y adjoindre un dispositif d'oculométrie permettant d'analyser les stratégies visuelles du conducteur, voire d'inférer son état en terme de distraction ou de vigilance), ainsi que d'apprécier leurs effets sur la dynamique du véhicule (la vitesse de déplacement, ou les accélérations latérales et longitudinales, par exemple).
- Des données issues de technologies de perception embarquées, permettant de percevoir l'environnement et les autres usagers présents sur la route à chaque instant, ainsi que d'analyser la scène routière en termes de risque de collision (TTC ; Time To Collision), ou de Temps Inter-Véhiculaire (TIV) en situation de suivi, par exemple.
- Des données cartographiques (disponibles dans les bases de données des systèmes d'aide à la navigation, par exemple, et récupérables en temps réel au moyen du positionnement du véhicule sur la carte, via les informations GPS), permettant de mieux connaître les caractéristiques de l'infrastructure routière sur laquelle se déplace le conducteur, et susceptibles - en outre - d'apporter des informations précieuses quant aux exigences de la tâche de conduite que doit respecter le conducteur (comme la vitesse maximale autorisée sur le tronçon routier emprunté, par exemple, ou bien encore le sens de circulation des voie à sens unique).

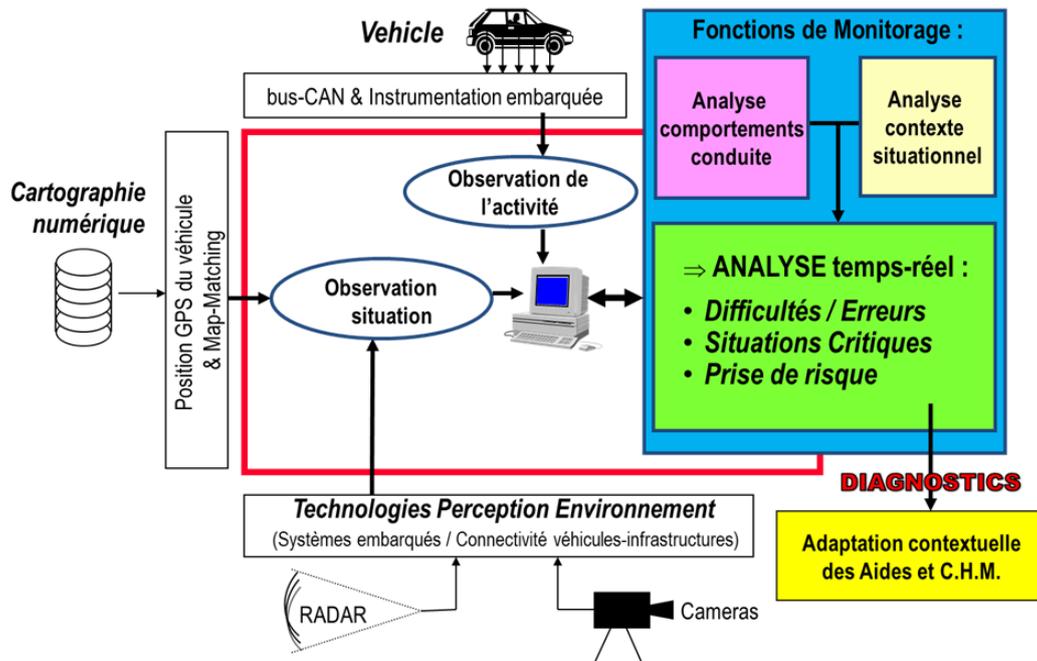


FIGURE 24 – Architecture fonctionnelle d'un futur dispositif de monitoring et de gestion adaptative des ADAS, adaptés aux besoins des séniors (adapté de [Bellet et al., 2011])

À partir de ces différentes sources d'information, il devient alors possible d'analyser conjointement l'activité située du conducteur et les caractéristiques de la situation de conduite dans laquelle cette activité est mise en œuvre, dans l'objectif de :

- Détecter les situations potentiellement accidentogènes (présence d'un obstacle sur la chaussée, potentiel conflit de trajectoire avec un autre usager de la route, arrivée à l'approche d'une intersection complexe ou d'une infrastructure nécessitant d'accomplir une manœuvre de conduite difficile pour les séniors, etc.).
- Analyser, en temps réel, les comportements du conducteur au regard des caractéristiques objectives de la situation routière (en termes de risque de collision ou de sortie de voie, par exemple).
- Juger de l'adéquation des comportements mis en œuvre par le conducteur âgé et diagnostiquer - le cas échéant - des erreurs de conduite ou des prises de risques inappropriées, au regard du contexte situationnel (distance de suivi trop courte, par exemple, ou pratique d'une vitesse inadéquate au regard des conditions de circulation, ou de l'infrastructure).

C'est sur la base de tels diagnostics d'erreurs, de difficultés ou de risques, constituant à terme le cœur de nos futures fonctions de monitoring, qu'il deviendra alors possible de déterminer en temps réel si (1) le conducteur âgé a ou non besoin d'une assistance dans la situation de conduite actuelle et (2), de spécifier plus précisément - en fonction de la nature des diagnostics produits - le type d'aide dont il a besoin (anti-collision, aide au maintien dans la voie, régulateur de vitesse, etc) ainsi que la forme que devra prendre cette assistance dans le contexte situationnel du moment (de la diffusion d'informations ou d'alertes jusqu'à la prise de contrôle du véhicule, en fonction du type et du niveau de risque auquel s'expose le conducteur, par exemple).

Nos objectifs étant ainsi posés, il s'agit à présent de définir plus précisément la méthodologie nécessaire à la conception de ces fonctions de monitoring. Ce sera l'objet des sections suivantes.

5.2.3 Méthodologie Cognitive pour des fonctions de monitoring

Pour spécifier, concevoir et développer nos futures fonctions de monitoring, la méthodologie de Cognitive que nous nous proposons de déployer revêt deux volets complémentaires : un volet ergonomique, centré sur l'analyse de l'activité en situation de conduite de véhicule, et un volet d'ingénierie cognitive, centré sur le développement d'algorithmes de monitoring pour l'analyse et la supervision en temps réel de cette activité. La figure 25 présente sous la forme d'un synoptique les principales étapes de notre méthodologie.

Pour ce qui est de la démarche ergonomique que nous allons adopter, il s'agira tout d'abord d'inviter des conducteurs âgés à conduire un véhicule instrumenté sur route ouverte, afin d'observer et d'enregistrer automatiquement des données objectives capables de rendre compte de leur activité de conduite en conditions naturelles. À l'issue de cette phase de conduite, il s'agira également de recueillir des données subjectives auprès des conducteurs, collectées au moyen d'entretiens et de questionnaires.

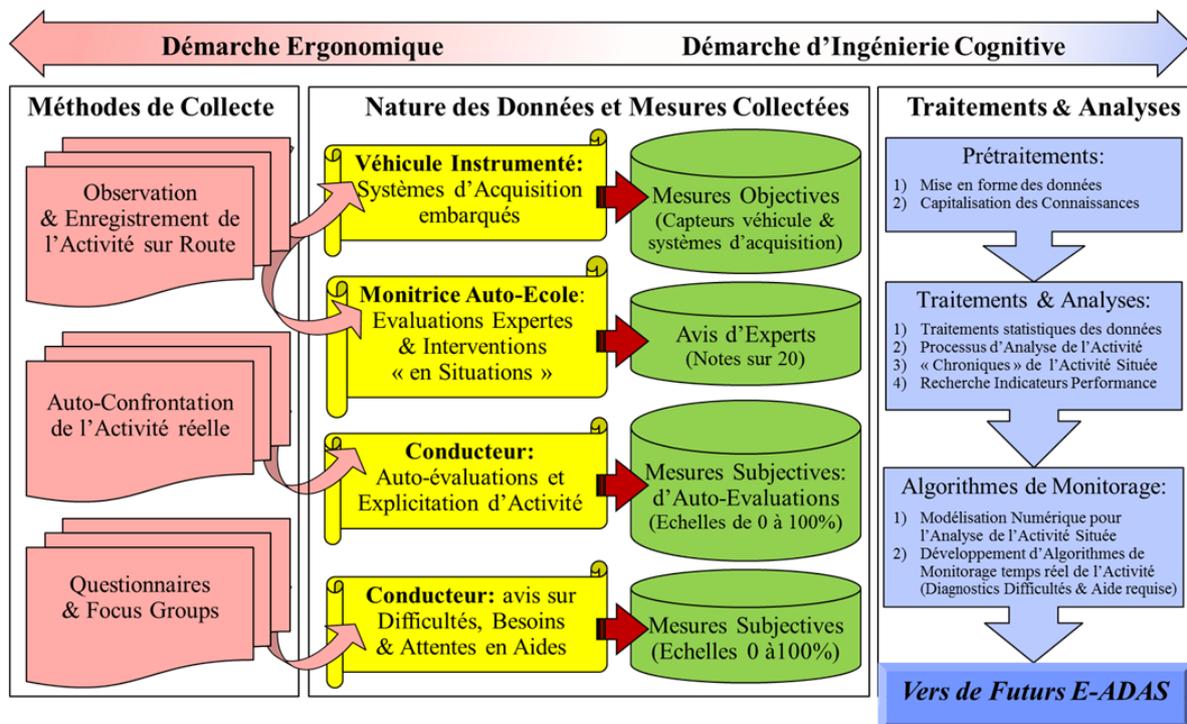


FIGURE 25 – Synoptique général de la démarche méthodologique en Cognitive, pour la collecte de données à des fins de conception de monitoring

Pour ce qui est de notre démarche en Ingénierie Cognitive, elle reposera sur l'analyse et l'exploitation des données expérimentales collectées sur route durant la phase précédente. Après avoir été pré-traitées (resynchronisations des données issues de différents capteurs de mesure, par exemple) et renseignées (via des annotations et/ou la capitalisation des connaissances acquises durant l'expérimentation), ces données feront l'objet de traitements statistiques et d'analyses numériques pour permettre leur exploitation en vue de concevoir nos algorithmes de monitoring pour l'analyse temps réel de l'activité, et destinés à long terme à être intégrés dans de futurs E-ADAS embarqués.

5.3. Démarche ergonomique pour l'observation de l'activité

Les sections suivantes présentent, respectivement, ces deux volets méthodologiques, en ergonomie tout d'abord, puis en ingénierie cognitive ensuite.

5.3 Démarche ergonomique pour l'observation de l'activité

Pour observer et analyser l'activité de conduite des seniors, nous aurons recours à une *voiture instrumentée* permettant l'enregistrement de paramètres situationnels et comportementaux. Ce véhicule instrumenté sera conduit sur un parcours expérimental qui sera identique pour tous les participants et sera réalisé sur route ouverte, au sein de la circulation, afin de satisfaire le critère d'observation de l'activité de conduite automobile dans un contexte écologique.

5.3.1 Parcours expérimental

La revue de la littérature réalisée précédemment, et notamment le chapitre 3, nous a permis d'identifier des situations de conduite plus problématiques pour les conducteurs âgés, en fonction de la manœuvre à réaliser ou du contexte dans lequel elle se déroule. À partir de ces connaissances, nous avons déterminé un parcours expérimental aux alentours de notre laboratoire, situé à Bron, en incluant des situations de conduite de difficultés variables pour les conducteurs âgés, dans des infrastructures diversifiées. Les caractéristiques détaillées de ce parcours seront présentées ultérieurement.

5.3.2 Le véhicule instrumenté

Le véhicule utilisé pour cette recherche (figure 26-a) est la Peugeot 307 du LESCOT dénommé VICTOR pour Véhicule Instrumenté pour l'étude du ComporTement du cONducteur. Ce dernier possède une motorisation diesel et une boîte de vitesses manuelle à 5 rapports. Il est équipé de doubles commandes et possède des rétroviseurs complémentaires au même titre qu'un véhicule d'auto-école. Il ne possède pas de radar de recul et les feux, ainsi que les essuie-glaces, sont à commande manuelle. Au-delà de ces quelques caractéristiques, nous présentons dans la suite l'architecture générale de l'instrumentation réalisée dans le véhicule.

5.3.2.1 Architecture générale du véhicule



FIGURE 26 – Vues intérieures et extérieures du véhicule VICTOR

Préalablement à nos travaux, le LESCOT utilisait une instrumentation « maison » pour l'enregistrement de plusieurs paramètres de conduite. Un ordinateur embarqué est dédié à l'enregistrement synchronisé de ces paramètres provenant de différentes cartes électroniques à l'aide du logiciel Mopad développé au LESCOT. Une réelle avancée a été réalisée dans la phase de

préparation du projet SAFEMOVE afin de collecter les nombreuses informations transitant sur le bus-CAN du véhicule.

Un dispositif professionnel de capture du son et de vidéos, situé dans le coffre permet, l'enregistrement des flux vidéos provenant de caméras miniatures, et de l'ambiance sonore dans l'habitacle (figure 26-d). Des boîtiers multi-vision permettent de mixer les vues caméra en un seul flux, qui est alors enregistré. Par mesure de sécurité, l'enregistrement de ces flux audio et vidéo est réalisé à la fois sur un support analogique de type DVCAM, et sur un support numérique. Dans le cadre de notre étude, deux configurations de captures vidéo sont réalisées : l'une allégée (5 vues) pour le support analogique, et l'autre plus complète (7 vues) pour le support numérique.

Un poste expérimentateur avec un retour vidéo et une interface d'affichage en temps réel des paramètres enregistrés est installé au niveau de la place arrière droite (figure 26-e). L'intégration de tous les dispositifs de mesure et d'enregistrement est faite de manière à limiter au maximum toute perturbation du conducteur lorsqu'il se trouve au volant (figure 26-b). Il en va de même au niveau de l'aspect extérieur du véhicule qui se doit d'être le plus banal possible, afin de ne pas influencer les comportements des autres usagers lorsque le véhicule circule sur route ouverte.

L'instrumentation réalisée sur le véhicule offre une grande modularité en fonction des objectifs des études menées par le laboratoire. Nous allons entrer plus en détails sur les différentes sources de données que nous avons retenues pour notre étude. Certaines de ces sources de données nous renseignent sur plusieurs composants du trièdre Conducteur-Véhicule-Environnement. Nous présenterons néanmoins ces moyens de mesures composant par composant.

5.3.2.2 Enregistrement du comportement du conducteur

Des capteurs non invasifs sont embarqués afin de mesurer les actions du conducteur sur les différentes commandes du véhicule, telles que l'enfoncement des pédales (figure 26-c), l'angle du volant et l'état des clignotants. Au-delà des actions sur les commandes, l'étude des stratégies visuelles du conducteur peut apporter des informations riches. Pour ce faire, un dispositif de suivi du regard *Facelab* est installé au niveau du poste de conduite (figure 26-b). Nous savons que le port de lunettes dégrade sensiblement le fonctionnement de ce dispositif, mais nous avons maintenu sa présence à bord du véhicule.

Cependant, même si le système de traitement d'image *Facelab* ne permettra pas systématiquement d'obtenir des informations sur la direction du regard du participant, nous avons décidé d'enregistrer le flux vidéo provenant d'une des caméras en guise de vue de face du conducteur. Pour compléter, nous avons positionné deux caméras à l'intérieur de l'habitacle afin de pouvoir s'intéresser aux stratégies de consultations des rétroviseurs ou de l'environnement par les participants, grâce à la première caméra placée sous le rétroviseur central. La seconde caméra est positionnée sur la planche de bord, côté passager, et vise quant à elle à fournir une vue d'ensemble de la posture des participants, et plus généralement, de ce qui se passe à l'avant de l'habitacle. Nous disposons donc de 3 vues du conducteur plus ou moins larges. On peut voir un exemple de ces vues lors d'une consultation du rétroviseur droit sur la figure 27 avec, de gauche à droite, la vue caméra rétroviseur intérieur, la vue habitacle, et la vue *Facelab*.



FIGURE 27 – Illustration des différentes vues orientées vers le conducteur

5.3.2.3 Enregistrement des données du véhicule

Pour compléter la liste des paramètres du véhicule, les signaux codés transitant sur le bus-CAN du véhicule sont également enregistrés par le biais d'un système d'acquisition professionnel Kvaser. Ils renseignent sur une multitude de paramètres disponibles sur cette autoroute d'échange d'informations entre les différents calculateurs du véhicule, tels que la vitesse, le régime moteur, le rapport de boîte de vitesse engagé, la distance parcourue, la consommation de carburant, l'état des feux, etc. Ces données sont ensuite décodées grâce au support du constructeur PSA Peugeot Citroën, partenaire du projet SAFEMOVE. La dynamique du véhicule, comme les accélérations latérales et longitudinales et la vitesse sont également mesurées par le biais d'une unité inertielle miniature. Elles renseignent sur les effets des actions du conducteurs sur la dynamique globale du véhicule.

5.3.2.4 Enregistrement du contexte de conduite

Nous avons insisté à plusieurs reprises sur l'importance d'étudier l'activité dans son contexte. Dans notre démarche d'analyse et de modélisation de la conduite automobile, il nous faut donc disposer de connaissances sur l'état du monde dans lequel évolue le véhicule piloté par nos conducteurs. Pour cela, nous misons à nouveau sur l'apport combiné de deux sources d'informations disponibles dans le véhicule instrumenté : la vidéo d'une part, et la position globale du véhicule grâce à une antenne GPS (Global Positioning System) d'autre part. Grâce au projet SAFEMOVE, un nouveau pas a été franchi avec l'installation d'une technologie de perception de l'environnement développée par Continental que nous présenterons également.

Historiquement au LESCOT, l'enregistrement vidéo était une des seules sources d'informations sur les éléments contextuels du voisinage dans lequel le véhicule évoluait. Pour notre étude, nous avons positionné deux caméras filmant la scène routière avant et avant-gauche. Ce dernier choix a été retenu, notamment pour disposer d'un champ de vision large, utile en projection de l'analyse des manœuvres de tourne-à-gauche, mais également d'insertion en rond-point, ou d'approche d'un passage piéton. Une troisième caméra installée au niveau du pare brise arrière, filme la scène routière arrière. L'idée est de disposer d'un équivalent de ce que le conducteur peut voir dans son rétroviseur central, et ses rétroviseurs extérieurs. Un exemple de ces vues caméra est donné figure 28, dans une situation de conduite sur le périphérique.



FIGURE 28 – Illustration des vues caméras renseignant sur l'environnement routier

Un dispositif matériel et logiciel de perception de l'environnement complète la configuration du véhicule VICTOR pour les besoins de l'expérimentation. Il se compose d'un radar installé derrière le pare-choc avant, couplé à une caméra CAN installée en position centrale sur le pare-brise. Ces deux capteurs sont couplés avec certains paramètres du véhicule disponibles sur le bus-CAN et reliés à un microcontrôleur. La caméra réalise une détection des panneaux de limite de vitesse (TSR) et des marquages au sol permettant notamment de déterminer le type de route empruntée, le nombre de voies disponibles et celle sur laquelle le véhicule circule ainsi que la position latérale du véhicule dans cette voie. Le radar permet quant à lui d'obtenir des renseignements sur la dynamique des objets situés en aval du véhicule.

Ces capteurs permettent de collecter certains paramètres directement exploitables (ex. la position latérale du véhicule dans sa voie), mais également un grand nombre de paramètres plus bruts et en grand nombre dont l'exploitation suppose une grande expertise. Dans le cadre du projet, un partenariat avec Continental nous a permis d'obtenir des indicateurs raffinés tels que le temps-intervéhiculaire (T_{iv} ou T_h pour Time-Headway) ou temps à la collision (T_{tc} pour Time-to-collision) qui sont de bons indicateurs pour analyser les situations de régulation longitudinale [Vogel, 2003].

D'autre part, nous disposons dans le véhicule d'une antenne GPS permettant de déterminer la position du véhicule (i.e. sa latitude, sa longitude et son cap). Cette information est utile pour connaître le chemin emprunté par un véhicule si l'on effectue un tracé des positions successives enregistrées entre le début et la fin d'un déplacement (comme on peut le voir en bleu sur le tracé de gauche de la figure 29). On peut également identifier la position à un instant donné du véhicule (point rouge sur le tracé de gauche de la figure 29). Mais le gain en information peut être nettement supérieur si l'on dispose d'une base de données cartographiques. Pour illustrer l'enrichissement d'informations à partir d'une base de données cartographiques, nous avons isolé l'information (disponible dans la base de données cartographiques ROUTE500 de l'IGN) du nombre de voies pour chaque tronçon routier du parcours expérimental qui sera présenté dans la suite (figure 29). Des informations complémentaires concernant les bases de données cartographiques sont données en **annexe A**.

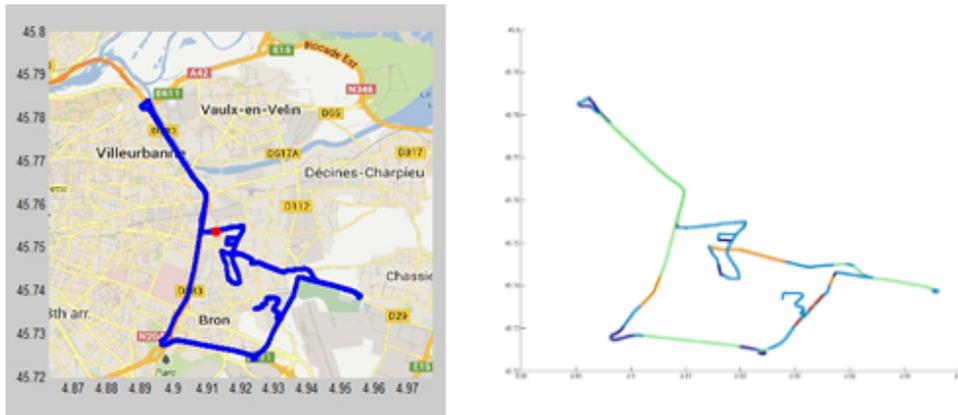


FIGURE 29 – Tracé GPS du parcours : sur un fond de carte à gauche - en ajoutant le nombre de voies de circulation à droite extrait de la base de données IGN-ROUTE500

Ne disposant pas de base de données cartographiques du commerce, notre approche consistera alors, en post-traitement et à partir des positions successives du véhicule, à bâtir *une base de données cartographiques locale de notre parcours* intégrant un maximum d'informations pour spécifier les contextes de conduite rencontrés dans notre parcours expérimental.

Pour compléter ces données objectives, nous avons eu recours à la méthode d'auto-confrontation afin de recueillir l'opinion des participants sur les situations de conduite rencontrées sur le parcours.

5.3.3 Méthode d'Auto-confrontation post-conduite

5.3.3.1 Principe et objectifs méthodologiques

L'auto-confrontation est une méthode classique de l'ergonomie visant à confronter un opérateur à sa propre activité pour l'inviter à verbaliser sur ses propres actions [Mollo and Falzon, 2004]. En règle générale, l'activité est filmée avant de présenter le film à l'opérateur. L'objectif est alors d'accéder aux informations prises en compte par l'opérateur ainsi qu'aux raisonnements qu'il a pu effectuer dans différentes séquences de son activité, via un entretien d'explicitation [Vermeersch, 1994]. Cet entretien vise à obtenir un maximum de connaissances sur une activité passée en accompagnant le participant à s'exprimer sur ce vécu. Il s'agit pour cela de se focaliser sur les raisonnements mis en œuvre par le participant au cours de son activité. L'enjeu est de faire expliciter au participant des éléments implicites à partir desquels il a agi au cours de l'activité.

5.3.3.2 Matériel et méthode

Au retour de la phase de conduite, le participant accompagné de deux analystes se rend dans une salle équipée d'un banc de visualisation de vidéo DVCAM et d'un ordinateur tablette connecté à un écran externe. Le participant est d'abord invité à se remémorer toutes les situations vécues au moment du parcours qui lui reviennent spontanément en mémoire. Ces éléments sont pris en notes car ils constituent des instants particulièrement signifiants ou marquants pour le participant. Le participant s'installe ensuite face au téléviseur et à l'écran d'ordinateur. Sur sa droite, un analyste mène l'entretien et contrôle le déplacement dans l'enregistrement vidéo. Sur sa gauche, un second expérimentateur est en charge de la prise en notes des repères de temps

des zones d'intérêts analysées et des verbatims du participant, ainsi que du contrôle du logiciel de collecte des avis du participant (figure 30).



FIGURE 30 – Illustration de l'entretien d'explicitation de l'activité avec un participant

L'enregistrement vidéo collecté durant la phase de conduite est rejoué du début à la fin. À partir de ces méthodes, le participant revit l'intégralité du parcours et doit réaliser une auto-évaluation de sa conduite à partir de plusieurs dimensions pour tous les moments-clés identifiés. Une quinzaine de situations ou manœuvres sont systématiquement analysées avec chaque participant. D'autres zones d'intérêt sont identifiées à partir de renseignements communiqués par la monitrice, évoqués spontanément par le participant lui-même, ou par les analystes découvrant les différentes situations de conduite au visionnage du film. Les auto-évaluations du participant sont collectées à l'aide d'échelles de Lickert (non graduées). À la position du curseur correspond une valeur numérique de 0 à 100% avec un intervalle unitaire. La figure 31 présente un exemple de ce qui est présenté au participant.



FIGURE 31 – Exemple d'échelle présentée au participant

Chaque situation est évaluée selon 17 dimensions qui sont présentées dans le tableau 4 et qui seront détaillées ultérieurement. Un logiciel, développé par nos soins, permet de présenter chaque dimension successivement, assortie de son échelle de mesure puis d'enregistrer la valeur attribuée par le participant. Pour donner sa réponse, le participant pointe sur l'écran secondaire à l'aide de son index la position sur l'échelle correspondant à son jugement, et c'est l'expérimentateur en charge du logiciel qui déplace le curseur à l'endroit indiqué (figure 30). Cette méthode a été retenue dans le but de neutraliser toute difficulté qui pourrait survenir dans la manipulation d'une souris ou du stylet directement par le participant. De plus, la résolution de l'interface permet d'étendre les échelles sur plus de 1200 pixels ce qui permet de limiter l'erreur entre la position pointée et la position atteinte par le curseur que déplace l'expérimentateur à plus ou moins 1%, mais également de faciliter la lisibilité des questions.

5.3. Démarche ergonomique pour l'observation de l'activité

TABLEAU 4 – Vue d'ensemble des dimensions de la conduite auto-évaluées par le participant

Catégories	Formulation présentée au conducteur
Tâche de conduite	Difficulté de la tâche de conduite ?
	Maitrise de la situation ?
	Criticité de la situation (et source de la criticité) ?
Performance	Prise de risque ?
	J'ai commis une erreur ?
	Respect du code de la route ?
	Note sur l'ensemble de cette situation ?
Évaluation	Perception des évènements ?
Conscience de la Situation	Compréhension de la situation ?
	Prise de décision ?
Ressentis	J'ai été Stressé(e) ?
	J'ai été Surpris(e) ?
	J'ai eu Peur ?
	J'ai été Gêné(e) dans ma conduite (et source(s) de la gêne) ?
Assistance	Auriez-vous souhaité une aide ?

5.3.4 Questionnaire et Focus Group

À l'issue de l'auto-confrontation, un questionnaire portant sur les difficultés rencontrées (de 0% jamais aucun problème à 100% toujours difficile) était présenté aux participants, à partir des 17 items présentés dans le tableau 5. La procédure de collecte est détaillée dans le chapitre 6.

TABLEAU 5 – Items présentés aux participants dans le questionnaire

Tâche	Contexte
Conduire	en Ville ?
	sur routes de Campagne ?
	sur Autoroute ?
	sur le Périphérique ?
	de Nuit ?
Suivre sa direction	avec les Panneaux ?
S'insérer	dans un Rond-Point ?
	sur Autoroute ?
Changer de Voie	sur Autoroute ?
Franchir un carrefour	sans avoir la priorité ?
Tourner à gauche	dans un carrefour à Feux ?
	dans un carrefour sans Feu ?
Respecter les limitations de Vitesse	en VILLE (30-50 km/h) ?
	sur NATIONALES (70-90 km/h) ?
	sur AUTOROUTE (110-130 km/h) ?
Dépasser un véhicule	sur une route à double sens ?
Manœuvre stationnement	effectuer un Créneau ?

Dans la continuité de cet ensemble, il s'agira de bâtir une collecte complémentaire, prenant la forme de groupes de discussion pour mieux cerner les besoins et attentes des conducteurs âgés en matière de systèmes d'aides à la conduite auprès d'un sous-groupe de participants de l'expérimentation sur route. Le chapitre 7 en présentera la méthode et les résultats.

5.4 Démarche d'Ingénierie Cognitive pour la conception de fonctions de monitoring

5.4.1 Synoptique de la méthodologie de conception

D'une façon synthétique, la méthodologie d'ingénierie cognitive mise en place pour la conception des fonctions de monitoring se compose de 5 grandes étapes de conception (figure 32).

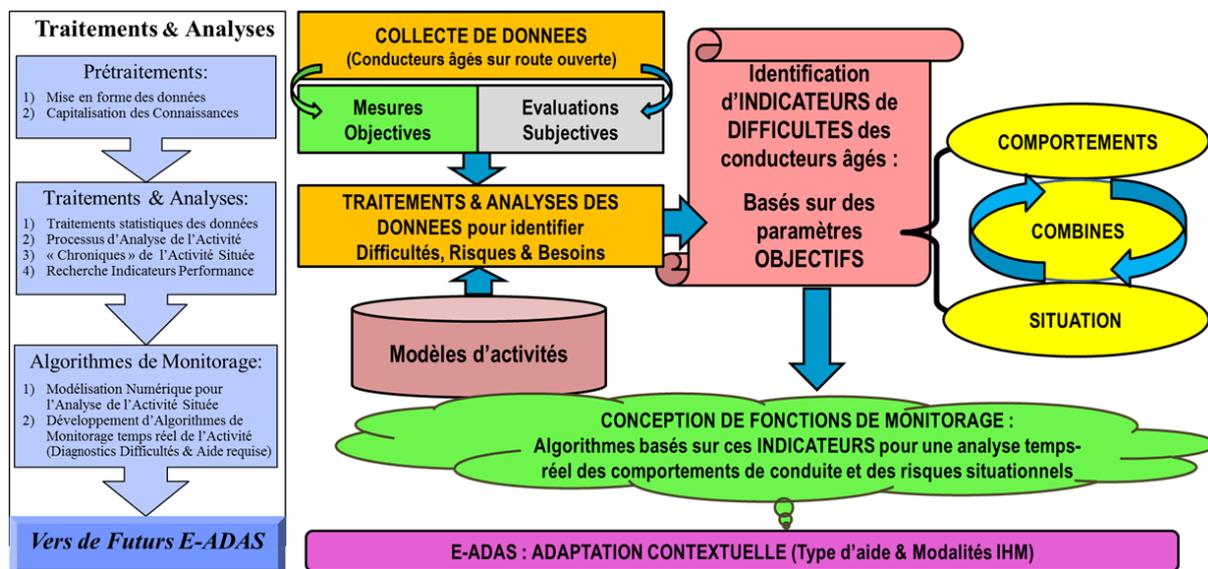


FIGURE 32 – Synoptique de la démarche Cognitive de conception Centrée sur l'Humain de fonctions de Monitoring pour de futurs E-ADAS

Collecte de données sur route ouverte (mesures objectives et avis d'expert) enrichies de données plus subjectives post-conduite (Auto-confrontations et questionnaire)

Traitement et Analyse de ces données, en recourant à des connaissances issues de la littérature et des modèles sur l'activité de conduite. Il s'agit aussi de partir des données subjectives et des jugements de la monitrice pour repérer des situations « à difficultés » puis les analyser en profondeur au moyen de « chronique d'activité située » (que nous décrirons plus tard).

Recherche d'indicateurs de difficultés basée sur des mesures objectives (puisqu'il s'agira ensuite de les utiliser pour l'analyse en temps réel de l'activité). Ces indicateurs peuvent correspondre à des comportements de conduite observables, des paramètres situationnels mesurables (révélateurs d'un risque, par exemple), ou d'agrégats combinés de comportements et de mesures situationnelles. Ils cherchent à rendre compte de la performance de conduite (difficultés rencontrées ou erreurs commises, par exemple) ainsi que des risques situationnels auxquels s'expose le conducteur âgé.

Développement des algorithmes de monitoring : Une fois ces 3 étapes réalisées, il s'agit de concevoir des modèles numériques de l'activité et des algorithmes pour son analyse en temps réel, intégrant les indicateurs de performance ou de risque identifiés précédemment. Une fois conçues, les fonctions de monitoring seront alors évaluées à partir des données collectées durant les observations sur route. Bien que réalisées « sur table », ces évaluations reposeront sur une procédure de rejeu de données qui sera en tout point comparable à une collecte embarquée.

5.4. Démarche d'Ingénierie Cognitive pour la conception de fonctions de monitoring

L'étape finale, qui sort des objectifs de cette thèse, sera d'**interfacer ces fonctions de monitoring avec des ADAS** existant, ou des les **intégrer** dans un dispositif de **co-pilotage** plus global, afin de disposer in fine de **futurs E-ADAS**.

5.4.2 Mise en forme et Prétraitements des données pour la conception de fonctions de monitoring

À l'issue de la collecte, nous adoptons tout d'abord une procédure de vérification des données puis de capitalisation à partir de l'ensemble des informations que nous avons recueilli auprès d'un participant. La deuxième étape consiste à structurer les données ainsi qu'à les resynchroniser. Pour ne pas alourdir cette section du manuscrit, la procédure de structuration et de resynchronisation a été placée en **annexe B**.

5.4.3 Méthodes pour l'analyse et la modélisation de l'activité

Pour mener notre processus d'analyse et de modélisation de l'activité, nous avons utilisé deux démarches d'analyse : une approche descendante et une approche ascendante.

5.4.3.1 Approche descendante

L'approche descendante est pilotée par les hypothèses de recherches issues de la littérature concernant les situations potentiellement problématiques pour les conducteurs âgés. Cette étape vise à identifier des « *situations-problème* » qui seront analysées sous la forme de « chroniques d'activité ». Ces « *situations-problème* » seront alors décrites plus finement du point de vue (1) de la configuration situationnelle et (2) de l'activité du conducteur dans la situation, à partir des nombreux paramètres enregistrés. Nous obtiendrons alors des marqueurs situationnels et des marqueurs comportementaux pour chaque « *situation-problème* » analysée. En étudiant précisément les paramètres de conduite disponibles, il est alors possible d'identifier des marqueurs objectifs en lien avec cette situation.

5.4.3.2 Approche ascendante

L'approche ascendante se base sur l'ensemble du corpus de données objectives disponibles, et consiste à rechercher si ces marqueurs objectifs existent dans d'autres situations. Lorsqu'ils sont identifiés, une nouvelle analyse descendante est réalisée pour confirmer ou infirmer le caractère problématique de la nouvelle situation identifiée. Ainsi, ces deux démarches s'inscrivent dans un cycle d'analyse itératif et s'enrichissent mutuellement, car elles permettent d'appréhender l'activité selon des niveaux de granularité variables mais complémentaires.

5.4.4 Méthodes pour la visualisation de l'activité de conduite

L'objectif de cette section est de présenter un exemple de visualisation de données obtenues durant les expérimentations (figure 33).

Nous utilisons un logiciel développé au LESCOT (nommé *BIND*) qui permet la visualisation synchronisée des données vidéo et numériques à l'aide de modules de visualisation. Ceci est possible après une phase de resynchronisation des sources de données et une mise en forme



FIGURE 33 – Exemple de visualisation d’une phase d’activité de conduite sur le périphérique

de toutes les données numériques provenant de sources diverses dans un seul et même fichier, appelé « *trip* ». Pour des raisons de confidentialité, le visage de notre participant est masqué sur la figure 33.

La situation de conduite présentée ici se déroule sur le périphérique. Une ambulance circulant sur la voie de gauche devant nous, va couper deux voies du périphérique pour rejoindre la prochaine sortie, avec une vitesse nettement plus faible que le flux de circulation, obligeant ainsi notre conducteur à freiner. On distingue sur la figure 33 quatre types de contenus : vidéo (A), courbes (B), repérage cartographique (C) et valeurs numériques instantanées (D). Pour la vidéo

5.4. Démarche d'Ingénierie Cognitive pour la conception de fonctions de monitoring

(figure 33-A), concernant l'environnement dans lequel progresse le véhicule, nous disposons de la scène avant, avec une vue de face centrée sur notre voie de circulation (caméra fixée au niveau du rétroviseur central) et une vue orientée vers la gauche (caméra fixée à l'intérieur de l'habitacle, au niveau de la portière gauche), et de la scène arrière (caméra fixée au centre de la partie supérieure du pare-brise arrière). Pour ce qui concerne la vidéo dans l'habitacle, nous avons sélectionné une vue centrée sur le participant, une autre plus large (vue moniteur + conducteur) et une vue sur les pédales du côté de la monitrice (doubles commandes), qui contient également le temps du magnétoscope. Pour les paramètres (figure 33-B), nous affichons ici en fonction du temps, le pourcentage d'enfoncement des pédales d'accélérateur (en trait continu dans la partie supérieure), le frein en trait mixte (à gauche), et la vitesse du véhicule (à droite). Dans la partie inférieure, nous présentons la valeur de distance de suivi (à gauche) et le temps de suivi (à droite). Les valeurs numériques correspondantes sont affichées (figure 33-D). Enfin, un tracé du parcours est réalisé sur une cartographie, et un repère indique la position courante (figure 33-C). On constate ici que le conducteur a freiné de manière conséquente (pédale enfoncée à 40%) pour réguler la distance de suivi et le temps inter-véhiculaire avec l'ambulance, dont les valeurs ont été divisées par 3 lors de cette manœuvre (voir repère T=2290). En recourant à cette méthode de visualisation, nous pouvons alors élaborer des « Chroniques d'activité », que nous utilisons pour l'analyse fine de l'**activité de conduite située**.

5.4.5 Production de « chroniques d'activité » située

5.4.5.1 Principe

Une chronique correspond à un « scénario » [Schank and Abelson, 1975] de conduite particulier que l'on va chercher à décrire et à analyser temporellement. L'approche consiste à identifier des instants clés ou « états » (un début, une fin et un ensemble d'états intermédiaires significants), délimitant des « phases d'activité », constituant la transition d'un état à un autre. Ce procédé permet de segmenter l'activité, tout en conservant le décours temporel des événements et des comportements, au fur et à mesure de l'évolution de la situation.

5.4.5.2 Exploitation des données d'auto-confrontation

En complément de ces éléments factuels, nous pouvons aussi analyser les jugements émis par le participant durant l'auto-confrontation. Les différentes dimensions mesurées durant l'auto-confrontation prennent la forme, pour chaque situation, de valeurs numériques de 0 à 100. Afin de visualiser ces données, nous utilisons un diagramme circulaire que nous lisons dans le sens des aiguilles d'une montre. Cela permet de visualiser le *pattern* de l'avis du participant concernant son activité en situation.

5.4.5.3 Intérêt des chroniques d'activité

À partir de la constitution de chroniques, celles-ci peuvent être regroupées en « classes de situations », en termes de difficultés ou d'erreurs (mauvaise évaluation d'un créneau inter-véhiculaire dans le cadre d'une traversée de voie opposée dans une intersection, négligence d'un usager se trouvant dans l'angle mort), de contexte de conduite ou manœuvre implémentée par les conducteurs (tourne-à-gauche en ville, dépassement sur le périphérique, par exemple), ou de fonctions d'assistance à mettre en œuvre (aide à la décision, alarme informant de la présence

d'un véhicule dans l'angle mort etc.). Au sein de ces classes de scénarios, constituées à partir de marqueurs situationnels et comportementaux via l'approche descendante, une analyse des différents paramètres disponibles nous permet alors d'identifier des indicateurs objectifs, ou des *patterns* d'indicateurs, qui pourront être ensuite recherchés parmi l'ensemble des données disponibles (approche ascendante). En termes d'analyse et de modélisation de l'activité, les chroniques se situent ainsi à un niveau intermédiaire entre des « classes de situations » (regroupant un ensemble de scénarios jugés homogènes au regard de certains critères d'analyse issus de l'approche descendante), et les paramètres mesurés sur le véhicule qui servent de support initial à l'approche ascendante (par exemple, l'état des pédales). À ce dernier niveau, la chronique permet ainsi de visualiser en parallèle un ensemble de paramètres synchronisés, en termes d'états et de phases d'activité.

Notre problématique de Cognitique ainsi que notre démarche méthodologique étant à présent définies, nous allons présenter les données collectées et les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse.

Observation et analyse de l'activité des conducteurs âgés sur route : Méthodologie et Résultats

Ce chapitre présente les données et les résultats obtenus dans le cadre de notre méthodologie d'analyse ergonomique de l'activité de conduite des séniors sur route ouverte. Après avoir rappelé la méthodologie, nous ferons un premier bilan général concernant les données collectées dans leur ensemble. Nous présenterons ensuite les travaux réalisés concernant 3 grands ensembles :

1. Le **franchissement d'intersections**, décomposé en 3 sous-parties incluant
les **tourne-à-gauche**,
les **ronds-points**,
et les **autres intersections non prioritaires** ;
2. La **tâche de conduite primaire**, décomposé en 3 sous-parties abordant
le **contrôle et la régulation de la vitesse** en fonction du contexte routier,
la **gestion du temps inter-véhiculaire** sur voies rapides,
le **maintien du véhicule dans sa voie** ;
3. Les **manœuvres de changements de voie** en milieu urbain, péri-urbain mais également sur voies rapides en distinguant les **phases d'insertions**.

Pour chacune de ces sections présentant des résultats issus de l'analyse de l'activité, nous tâcherons (1) de présenter les tenants et les aboutissants de la tâche de conduite, (2) formuler les questions de recherche en nous appuyant sur la revue de littérature réalisée avant (3) de décrire le matériau rendu disponible grâce à nos observations puis (4) de rendre compte des difficultés et des erreurs observées pour la tâche considérée (à partir des jugements émis par la monitrice, des auto-évaluations des participants ainsi que nos propres analyses). Ces *situations-problèmes* observées seront illustrées par (5) des analyses de cas et/ou des analyses détaillées de l'activité située pour une infrastructure donnée. Enfin, une conclusion synthétique sera présentée à la fin de chaque ensemble.

À l'issue de cette présentation des résultats, une dernière section visera à les discuter d'une façon plus transversale, consacrée à l'analyse des erreurs et des difficultés de conduite observées durant notre expérimentation. Il s'agira alors de tirer un premier ensemble de conclusions synthétiques nous permettant de progresser vers nos fonctions de Monitoring.

6.1 Méthodologie

Comme nous venons de le voir, la méthodologie mise en place pour l'observation et l'analyse de l'activité de conduite en situation écologique a impliqué des conducteurs âgés, au volant d'un véhicule instrumenté, sur un parcours expérimental, en compagnie d'une monitrice auto-école. À l'issue de la session de conduite, un entretien d'auto-confrontation a été réalisé à partir de l'enregistrement vidéo de l'expérimentation.

6.1.1 Tâche et consigne expérimentale

Les participants ont été invités à conduire un véhicule instrumenté pour réaliser un parcours expérimental au côté d'une motrice auto-école, assise sur le siège passager avant, en charge d'assurer la sécurité. La monitrice assurait le guidage en donnant des informations de direction, soit sous la forme d'une direction à suivre (comme « suivre Grenoble / Chambéry »), soit par indications de type « à la prochaine intersection, tournez à gauche », à l'image de ce que pourrait indiquer la commande vocale d'un système de navigation embarqué.

Au-delà de ce rôle de guidage, la monitrice assurait également une évaluation experte de la conduite des participants au moyen de différents avis, en lien avec la performance, une difficulté ou une erreur de conduite. Pour cela, des notes sur 20 étaient attribuées pour certaines infrastructures du parcours (avis local) pendant la conduite et les événements marquants étaient pris en note. Au retour de la session de conduite, la monitrice formulait un avis global (accompagné d'une note globale) et transmettait un compte rendu rapide aux analystes en charge de mener l'entretien d'explicitation de l'activité. Ces différents avis ont été collectés au moyen d'une fiche de réponse (dont un extrait est présenté en **annexe C**).

La monitrice a été formée afin de standardiser les consignes expérimentales et d'harmoniser la collecte de données. À ce titre, le parcours a été réalisé par les expérimentateurs en compagnie de la monitrice afin de le mémoriser et de déterminer les repères à partir desquels les informations de directions devaient être transmises au participant. Ainsi, ces indications sont données de façon similaire et à des moments identiques pour tous les participants, selon un cahier des charges strictement défini par les analystes (**annexe D**).

En début d'expérimentation, la monitrice donnait aux participants la consigne expérimentale suivante : « *Nous allons partir pour un parcours d'une quarantaine de minutes, constitué d'une section urbaine et d'une section sur voies rapides. Je vous donnerai les directions à suivre soit par gauche ou par droite, soit par panneaux (par exemple, suivre la direction de Paris). Si je ne dis rien, nous irons tout droit. Je vous demanderai de respecter le code de la route et les limitations de vitesses puisque c'est votre responsabilité qui est engagée. Si à tout moment vous souhaitez vous arrêter, vous n'aurez qu'à me le signaler, je prendrai alors le volant et nous rentrerons* ». Après avoir répondu aux questions éventuelles des participants, l'expérimentation pouvait débuter.

6.1.2 Parcours expérimental

Les caractéristiques principales du parcours sont présentées dans le tableau 6.

TABLEAU 6 – Description du parcours expérimental

Caractéristiques globales	
Durée approximative	45 minutes
Distance	28 kilomètres
% zone urbaine	40%
% zone péri-urbaine	40%
% voies rapides	20%
Vitesses règlementaires	30 ; 50 ; 70 ; 90 km/h
Nb zones aménagées limitées à 30 km/h	6
Infrastructures rencontrées	
Ronds-points	6
Intersections (total)	40
Intersections prioritaires (total)	9
Intersections non prioritaires (total)	31
Intersections non prioritaires (feux tricolores)	17
Intersections non prioritaires (cédez-le passage)	7
Intersections non prioritaires (priorité à droite)	2
Intersections non prioritaires (non régulées)	5
Manœuvres à réaliser	
Tourne-à-gauche (TàG)	11
Tourne-à-droite (TàD)	6
Changements de voie imposés pour suivi de direction	8 (5 sur la gauche, 3 sur la droite)
Insertions voies rapides	2 (sur la gauche)
Bretelles de décélération	1
Bretelles de liaison circulaires	2
Informations complémentaires	
Radars fixes	2 - limite 90 km/h
Radar pédagogique	1 - limite 50 km/h
Créneau	1 (sur la droite)

Le parcours inclut une partie urbaine, une partie péri-urbaine et une partie sur voies rapides. Nous avons également ciblé des zones limitées à 30 km/h, dont l'une d'elles est une zone aménagée comprenant un radar pédagogique. En ce qui concerne la partie urbaine, différents types de tourne-à-gauche (TàG) et tourne-à-droite (TàD) ont été retenus en fonction de la présence ou non de feux tricolores, du type d'infrastructure et des règles de priorité. En ce qui concerne la partie péri-urbaine, des tronçons à variations de vitesse maximale autorisée ont été sélectionnés. Au niveau de leur courbure, certaines portions sont en ligne droite et d'autres en virages. Du point de vue de l'infrastructure routière, elles comportent des simples et doubles voies de circulation, et certaines contiennent des zones de dépassement (2 voies de circulation dans une des directions, 1 voie à contresens). La portion de voies rapides incluse dans le parcours comporte deux voies d'insertion et une voie de décélération en ligne droite. On y trouve également deux bretelles circulaires : une jonction entre deux axes autoroutiers, et la sortie de la seconde portion de voies rapides. Deux radars automatiques sont présents sur cette section. Plusieurs zones d'interactions avec d'autres usagers (ZI) tels que les changements de voie pour suivi de direction ou rencontre

de bretelles d'accès, sont réparties tout au long de cette section. En fin de parcours, nous avons ajouté une manœuvre de créneau à droite. Celle-ci sera réalisée sur le parking du laboratoire en disposant, le long d'un trottoir, deux véhicules délimitant un espace de 6 mètres pour toute la durée de l'expérimentation.

Pour donner un meilleur aperçu du parcours, nous proposons un formalisme qui combine à la fois l'apport d'informations d'un tracé sur un fond de carte et d'un tableau descriptif, en y ajoutant une dimension temporelle (figure 34). Cette représentation visuelle permet de rendre compte de la diversité et de la complexité variable de ce parcours expérimental. La chronologie se lit de gauche à droite et de haut en bas.

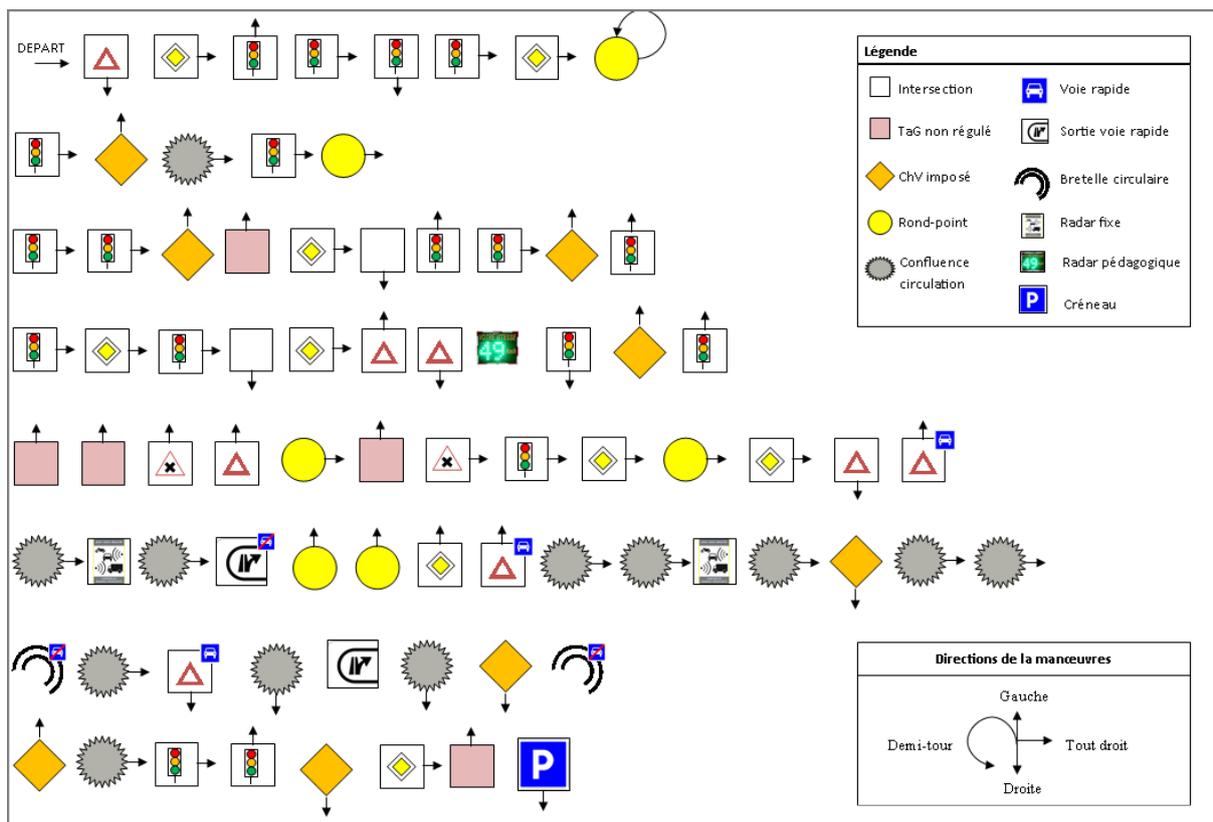


FIGURE 34 – Formalisme visuel de description du parcours expérimental

6.1.3 Participants

Dans le cadre du projet Safemove, une équipe d'épidémiologistes de l'unité mixte IFSTTAR CNRS UMRESTTE est en charge de la constitution d'une cohorte de conducteurs âgés représentatifs de la population du Rhône [Lafont et al., 2014]. Un tirage au sort, à partir des listes électorales du département du Rhône, a été réalisé afin de soumettre un questionnaire initial à un échantillon représentatif de la population âgée de 70 ans et plus résidant dans le département. Plus de 1200 personnes ont répondu à ce questionnaire initial. Au sein de ce panel étendu, une seconde étape a impliqué la rencontre des participants à domicile par des psychologues en charge de mener un entretien semi-directif afin de mieux « profiler » les personnes. Cette seconde phase a inclus près de 800 personnes.

Lors de cet entretien, les personnes se sont vues proposer la participation à une série de tests cognitifs plus complète menée en laboratoire couplée à l'expérimentation sur route dont nous étions en charge. Ces expérimentations sont planifiées en matinée, afin de pouvoir conclure la phase expérimentale par un repas avec les participants qui le souhaiteraient.

Nous concernant, **76 conducteurs issus de ce sous-groupe représentatif des conducteurs âgés du Rhône** ont pris part à l'expérimentation sur route. Ces participants sont **âgés de 70 à 87 ans** ($M=74.1$, $SD=3.74$) et ont été reçus sur la période de septembre 2013 à février 2014. On dénombre **48 hommes** âgés de 70 à 87 ans ($M=74.5$, $SD=4.15$) et **28 femmes** âgées de 70 à 78 ans ($M=73.25$, $SD=2.74$), habitant de façon répartie sur l'ensemble du département du Rhône (29 communes représentées, voir figure 35). Une indemnisation de 60 euros était proposée pour la participation à cette phase de l'étude.

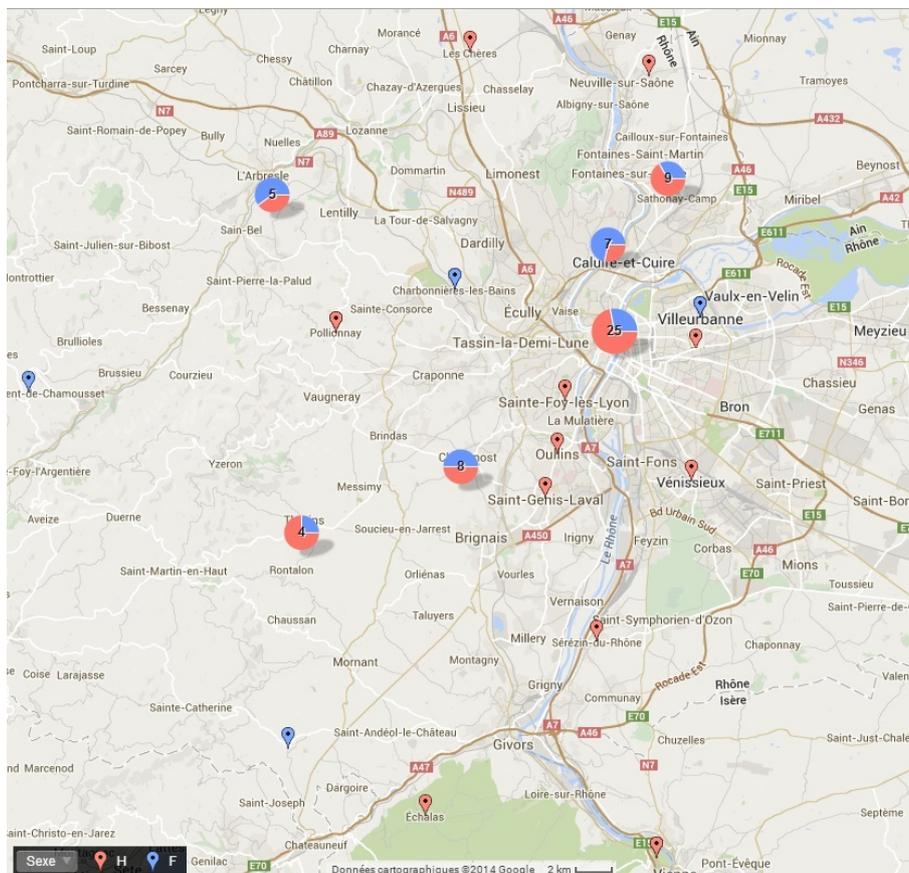


FIGURE 35 – Lieux de domiciliation des 76 participants reçus pour l'expérimentation sur route

6.1.4 Entretien d'auto-confrontation post-conduite

Pour chaque situation auto-confrontée, le participant évalue **14 dimensions regroupées en 5 catégories** (tableau 7). Ces dimensions utilisées proviennent de précédents travaux menés au sein au LESCOT, notamment sur les questions de prévention du risque de sortie de voie sur lesquelles nous avons travaillé avant de débiter cette thèse [Bellet et al., 2012b, Bellet et al., 2012c]. Les questions portant sur la conscience de la situation reprennent globalement les 3 niveaux de ce concept que sont la perception des éléments utiles à la conduite, leur compréhension et la prédiction de l'état futur de l'environnement sur laquelle se base la prise de décision [Endsley,

1995]. Pour ce qui concerne la performance, nous demandons également aux conducteurs s'ils pensent avoir commis ou non une erreur et s'ils estiment avoir respecté le code de la route et les règles locales de l'infrastructure considérée. En ajoutant la notion de prise de risque, mise en regard de la façon dont le participant évalue la tâche de conduite analysée, cela nous permet d'appréhender la conscience du risque de ce dernier [Bellet and Banet, 2012].

Enfin, nous nous intéressons à tout ce qui peut freiner la mobilité des conducteurs âgés. Ainsi, toute manifestation d'un ressenti négatif (stress, peur) voire d'une gêne rencontrée est investiguée. La question portant sur la survenue d'un effet de surprise peut quant à elle révéler une prise en compte incomplète des éléments de l'environnement (ex. arrivée sur un ralentisseur dont l'annonce n'aurait pas été détectée). Ainsi, bien que les dimensions soient présentées par catégories, leur exploitation est envisagée en les combinant pour évaluer des niveaux plus conceptuels de la performance. Pour compléter ces jugements, le participant s'attribue une note de conduite sur 20 pour chaque situation analysée.

TABLEAU 7 – Dimensions de la conduite auto-évaluées par le participant

Catégories	Formulation présentée au conducteur	Extrémités échelle	
		0%	100%
Tâche de conduite	Difficulté de la tâche de conduite ?	Très facile	Très difficile
	Maîtrise de la situation ?	Pas du tout	Totalement
	Criticité de la situation ?	Non critique	Très critique
	Quelle est la source de cette criticité ?	<i>Moi xor* Autres xor Hasard</i>	
Performance	Prise de risque ?	Aucune	Importante
	J'ai commis une erreur ?	Aucune	Importante
	Respect du code de la route ?	Pas du tout	Totalement
	Note sur l'ensemble de cette situation ?	Note sur 20	
Évaluation de la Situation	Perception des événements ?	Mauvaise	Bonne
	Compréhension de la situation ?	Mauvaise	Bonne
	Prise de décision ?	Mauvaise	Bonne
Ressentis	J'ai été Stressé(é) ?	Pas du tout	Énormément
	J'ai été Surpris(e) ?	Pas du tout	Énormément
	J'ai eu Peur ?	Pas du tout	Énormément
	J'ai été Gêné(e) dans ma conduite ?	Pas du tout	Énormément
	Source(s) de cette gêne ?	<i>Moi * Autres Infrastructure</i>	
Assistance	Auriez-vous souhaité une aide ?	Pas du tout	Énormément

* : xor signifie ou-exclusif; || signifie et/ou

6.1.5 Questionnaire général sur les difficultés de conduite

Au terme de l'entretien post-conduite, nous demandons aux participants d'évaluer, d'une façon très globale, la difficulté qu'ils rencontrent en conduite à l'aide du même type d'échelle que pour les auto-évaluations (figure 36).

Les échelles s'étendent de « Jamais difficile », ce qui équivaut à une difficulté nulle (cette situation ne leur pose jamais de problème), à « Toujours difficile », ce qui équivaut à une difficulté de 100% (cette situation leur pose toujours des difficultés, voire même ils font en sorte de l'éviter). Chaque dimension ou contexte de conduite a été soumis aux participants, présenté une à une, accompagné de l'échelle de réponse.

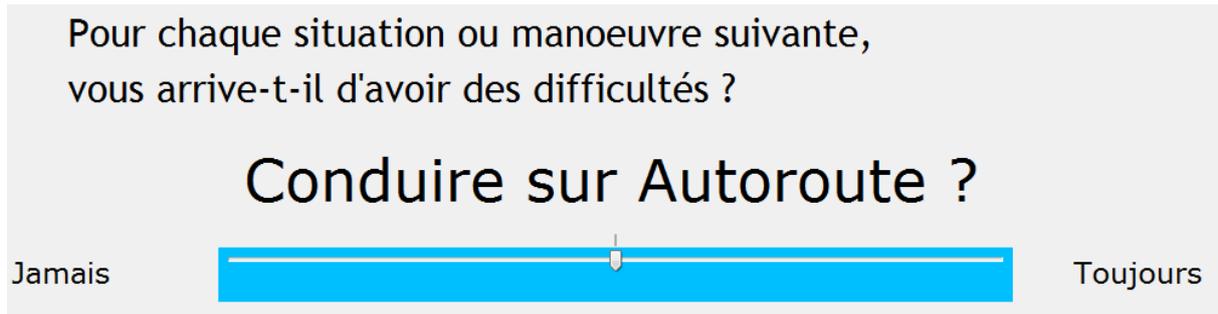


FIGURE 36 – Échelle utilisée pour la difficulté globale des situations de conduite autoconfrontées

6.1.6 Déroutement de l'expérimentation

L'expérimentation dure environ trois heures trente, organisées comme suit :

1. Accueil du participant, complétion et signature du formulaire de consentement ;
2. Ajustements du siège en distance au volant, en hauteur et en inclinaison du dossier. Réglages des rétroviseurs extérieurs et du rétroviseur central ;
3. Description du véhicule, de l'emplacement des manettes de clignotants, d'essuie-glaces, et d'allumage de feux, manipulation de la boîte de vitesses à l'arrêt ;
4. Session de conduite d'environ 50 minutes, incluant une phase de prise en main de 10 minutes du véhicule au départ du parcours ;
5. Pause de 10 minutes pour le participant, pendant que la monitrice effectue un débriefing auprès des analystes en charge de l'entretien d'explicitation ;
6. Auto-confrontation basée sur l'enregistrement vidéo de la conduite ;
7. Repas avec le participant lorsque cela est possible. Cela permet de réaliser une sorte de poursuite plus informelle de l'entretien qui est souvent très riche d'enseignements.

6.2 Bilan du matériau recueilli

6.2.1 Données véhicules

Au total, nous avons enregistré des données de conduite auprès de **76 conducteurs seniors** sur une distance cumulée de **plus de 2100 kilomètres** pour une durée totale de plus de **57 heures**. Les 76 participants ont tous réalisé la partie de conduite dans son intégralité. Si l'on s'intéresse au respect strict du parcours expérimental en revanche, 67 participants ont satisfait ce critère. Parmi les 9 participants restants, 5 d'entre eux ont réalisé le parcours sur une période où un enchaînement de quatre changements de directions sur la gauche n'était pas accessible pour cause de travaux. Deux autres participants ont manqué une indication de direction pour accéder à cette zone, les contraignant à effectuer un demi-tour au rond-point situé 200 mètres plus loin, afin de revenir sur leurs pas. Pour ces 7 participants, le léger détour est de l'ordre de quelques centaines de mètres. Une autre participante a, quant à elle, emprunté la mauvaise sortie dans un rond-point et a effectué un détour de quelques kilomètres avant de reprendre l'itinéraire prévu (Eld68). Enfin, un participant a été confronté à un bouchon important sur la portion de périphérique retour ce qui a modifié l'itinéraire de retour au laboratoire (Eld25). Nous apportons ces précisions car nous indiquerons le nombre de participants sur lequel porte

les analyses détaillées, susceptible de varier, en fonction de ces détours. À titre plus anecdotique, 2 participantes ont refusé la manœuvre de stationnement finale (Eld40 et Eld44).

Concernant les données d'occulométrie collectées à l'aide du dispositif Facelab, nous avons constaté dès les premiers tests qu'il fonctionnait très mal en cas de port de lunettes. Nous avons donc renoncé à enregistrer les données pour les personnes portant des lunettes. En conséquence, nous n'avons enregistré des données d'occulométrie que pour les 13 participants, non porteurs de lunettes. Parmi ces données, nous comptons un taux très faible de données exploitables (entre 8% et 15% par participant). Les enregistrements vidéos nous permettront cependant d'enrichir les données à partir d'un codage manuel des stratégies visuelles. Ce travail étant fastidieux, nous ne pourrions le faire que pour une faible partie des situations analysées.

6.2.2 Données d'auto-confrontation

Nous nous sommes entretenus avec les 76 séniors qui ont participé à la session de conduite. Avec une durée moyenne de 2h30 par séance d'Auto-confrontation, cela représente **près de 200 heures d'entretien**. Pour une large majorité des participants, la quasi-totalité du parcours a été révisonnée lors de cet entretien. Au total, ce sont **1448 situations qui ont été auto-évaluées**. Nous avons prévu d'en auto-confronter un certain nombre de façon systématique pour tous les participants, en complément d'autres phases de conduite identifiées soit par la monitrice, soit par les conducteurs, soit par nos soins.

Les scénarios systématiques que nous avons pré-déterminés sur le parcours expérimental étaient au nombre de 18 (soit 1368 auto-évaluations si nous les avons toutes réalisées). Nous avons régulièrement privilégié des situations identifiées *à la volée* à des situations systématiques qui ne présentaient qu'un intérêt limité (absence de circulation dans un TàG par exemple) pour lesquelles nous demandions très rapidement au participant son avis que nous prenions en note. Sur le total des auto-évaluations collectées, on compte au final 1082 scénarios systématiques (soit 79% de notre objectif initial et 75% du total) et 366 situations d'intérêt identifiées à la volée, soit 25% du total. En moyenne, nous avons auto-confronté 19 situations par participant (14 situations systématiques (SD=2.7), et 5 autres situations (SD=2.3)).

6.2.3 Données monitrice

Durant la tâche de conduite, la monitrice était en charge d'attribuer **18 notes locales**, correspondant à différentes situations de conduite (tableau 8), ainsi que de formuler **un avis global** associé à une **note d'ensemble pour chaque participant**.

Au final nous disposons de **1496 notes** attribuées par la monitrice, 1442 notes locales et 74 notes globales. En effet, deux participants n'ont pas de note globale (Eld01 et Eld25) et 22 notes locales sont manquantes (5 omissions et 17 absences de note du fait d'un détour sur le parcours).

6.2.4 Données questionnaire

Les 76 participants ont répondu à la question « vous arrive-t-il d'avoir des difficultés... » pour les **17 dimensions ou situations de conduite** présentées dans le tableau 9.

TABLEAU 8 – Tâches ou manœuvres évaluées par la monitrice

Tâche ou manœuvre	Milieu	Nb
Intersections - TàG	urbain	4
Intersections - Rond-Point	urbain	2
Intersections - Rond-Point	péri-urbain	1
Intersections - Priorité à droite	urbain	1
Intersections - Cédez-le-passage	urbain	1
Intersections - Cédez-le-passage	péri-urbain	1
Insertions	périphérique	2
Changement de voie	urbain	1
Changement de voie	péri-urbain	1
Changement de voie	périphérique	1
Zones interactions - entrées/sorties	périphérique	3

TABLEAU 9 – Items présentés aux participants dans le questionnaire

Tâche	Contexte
Conduire	en Ville? sur routes de Campagne? sur Autoroute? sur le Périphérique? de Nuit?
Suivre sa direction	avec les Panneaux?
S'insérer	dans un Rond-Point? sur Autoroute?
Changer de Voie	sur Autoroute?
Franchir un carrefour	sans avoir la priorité?
Tourner à gauche	dans un carrefour à Feux? dans un carrefour sans Feu?
Respecter les limitations de Vitesse	en VILLE (30-50 km/h)? sur NATIONALE (70-90 km/h)? sur AUTOROUTE (110-130 km/h)?
Dépasser un véhicule	sur une route à double sens?
Manœuvre stationnement	effectuer un Créneau?

6.2.5 Capitalisation des connaissances sur les données enregistrées

Le corpus de données de conduite dont nous disposons à présent est assez conséquent. Afin d'exploiter ce type de données disponibles dans un tel volume, il est nécessaire d'adopter des méthodes de réduction de données, visant à déterminer des fenêtres d'intérêt au sein desquelles des analyses de niveaux de granularité variables seront menées. Dans notre cas, nous avons procédé à une documentation la plus exhaustive possible des situations de conduite rencontrées par les participants tout au long du parcours afin de conserver une trace de ce qui s'est passé. Pour chaque situation ou évènement potentiellement intéressant au regard de nos objectifs d'analyse de l'activité de conduite des séniors, nous avons ainsi relevé un repère de temps accompagné d'une description textuelle de l'*histoire*. Dans cette description, nous avons également ajouté des mots-clés permettant une recherche aisée dans ce *répertoire numérique de séquences de conduite*. Ces séquences correspondent à 2 grandes catégories : des phases typiques d'activité et des situations posant des difficultés à nos conducteurs âgés.

Répertoire de séquences « typiques » d'activité de conduite :

Nous avons identifié des séquences d'activité sur lesquelles nous souhaiterions effectuer des analyses détaillées (ex. dépassement, suivi de véhicule avec un autre véhicule qui s'insère dans l'espace inter-véhiculaire pour analyser la performance de régulation longitudinale; situations d'interaction avec des usagers vulnérables tels que les deux roues motorisés ou non ou encore les piétons; survenue d'un évènement soudain pour analyser la capacité de détection voire le temps de réaction, etc.). Ces séquences constituent pour une bonne partie d'entre elles une base de référence de situations bien gérées par les participants, en tout cas à partir d'un jugement très global.

Répertoire de « *Situation à difficulté* » ou présentant un danger potentiel :

Cette catégorie inclue toutes les situations de conduite dont la complexité est non négligeable, que ce soit en fonction de la circulation, du comportement d'un autre usager, ou lorsque l'activité du conducteur sénior semble pénible ou difficile. En fonction des décisions prises par nos participants ou de la mise en œuvre de ces décisions dans certains contextes, les situations ont parfois comporté un caractère critique ou risqué. Ces séquences sont identifiées à partir d'une combinaison des retours effectués par la monitrice et/ou par le participant lui même et/ou par nos soins.

Au total, ce sont **1927 situations qui ont été répertoriées et documentées**, soit une moyenne de 25 par participant. Pour compléter ces éléments, nous avons également consigné un maximum d'informations sur les habitudes de conduite des participants, ainsi que sur leur *curriculum* de conducteur. Nos échanges constants avec la monitrice auto-école ont également été consignés dans une base de données. Ils correspondent à ses jugements globaux sur les différents participants, notamment au fur et à mesure de l'avancée dans les passations, par comparaison ou rapprochement de personnes selon des *grands traits de caractères de conduite*. Nous avons également pris soin de garder une trace de nos propres impressions sur chaque participant.

Dans les différentes sections qui vont suivre, les participants seront identifiés par un code du type Eldxx, xx correspondant à l'ordre de passage pour l'expérimentation sur route. Ce code sera également utilisé pour identifier les participants au Focus Group. Pour les analyses de cas qui seront présentées, un suffixe sera ajouté pour préciser la situation et nous assurer une bonne traçabilité (ex Eldxx_Situation).

6.3 Les situations de Tourne-à-Gauche

Le tourne-à-gauche est une situation à risque pour les conducteurs âgés, nous débuterons ainsi cette présentation de résultats d'observations sur route par leur analyse.

6.3.1 Tâche de conduite

6.3.1.1 Intersection en général

En intersection, le conducteur doit identifier les règles de priorité et comprendre les règles locales de l'infrastructure, c'est à dire identifier les flux de circulation et leur direction pour déterminer la *zone de conflit de l'intersection* [Wu, 2011] ainsi que les zones de déplacement pour sa manœuvre. À partir de là, il doit signaler son intention aux autres usagers et se déplacer dans l'infrastructure en gérant son interaction avec les autres véhicules (en respectant les règles de priorité) mais aussi avec d'autres usagers, tels que des piétons. Dans le cas d'une intersection non prioritaire, le conducteur doit identifier un créneau d'insertion pour traverser un flux de circulation parfois parallèle, parfois perpendiculaire à la direction d'attente. Pour cela, il doit détecter la présence des autres véhicules, estimer leur vitesse et la distance à laquelle ils se trouvent (i.e. le créneau d'insertion) et décider de s'engager lorsqu'il estime que le créneau d'insertion est suffisant pour traverser ou s'insérer dans le flux de façon sécuritaire.

6.3.1.2 Tourne-à-Gauche (TàG)

Le TàG est un sous-type d'intersections dans lesquelles les conducteurs ne sont pas prioritaires. Les carrefours peuvent être régulés par des feux tricolores, ou ne présenter aucune signalisation particulière, mais dans tous les cas il s'agit de traverser un flux de circulation parallèle se déplaçant à contresens, en traversant par la zone de conflit (figure 37).

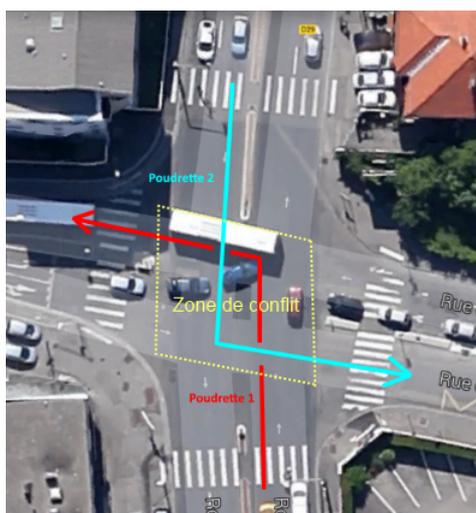


FIGURE 37 – Exemple de zone de conflit dans un carrefour en croix

Pour décrire l'activité en situation de TàG, nous proposons une instanciation du schéma tactique de franchissement d'un TàG (introduit dans le chapitre 2) sur une infrastructure du parcours (figure 38).

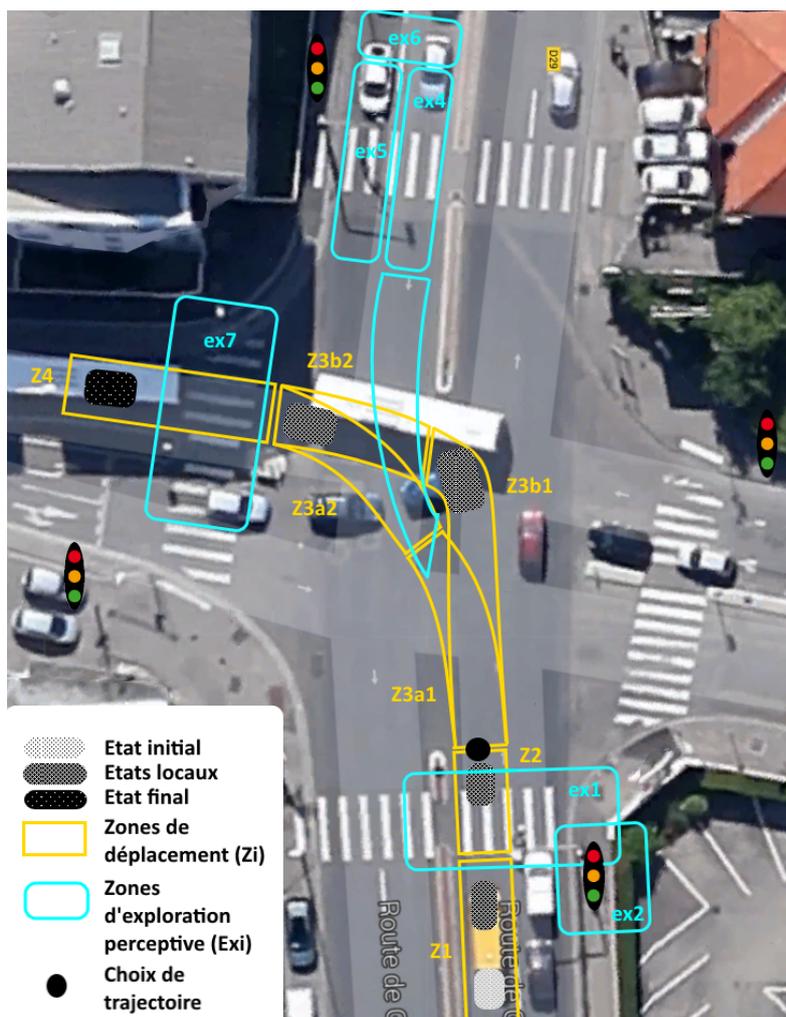


FIGURE 38 – Schéma tactique du TàG Poudrette

La première étape consiste à indiquer son intention de tourner à gauche aux autres usagers, et à effectuer un changement de voie pour se positionner sur la voie de gauche, avant l'arrivée dans l'intersection. À l'approche du feu tricolore, dont la couleur devra être vérifiée, le conducteur prend la décision de s'engager dans l'intersection, ou de s'arrêter. La présence de piéton en entrée de l'intersection doit également être vérifiée avant de prendre cette décision. Une fois dans l'intersection, le conducteur doit se positionner, que ce soit pour s'arrêter et attendre un créneau d'insertion, ou pour temporiser, le temps qu'un créneau déjà identifié se présente à son niveau (stratégie de régulation). Durant cette phase de recherche de créneau disponible, une attention particulière doit être portée sur la vitesse et la distance des véhicules arrivant à contresens afin de prendre une décision sécuritaire. Avant de s'engager dans le franchissement des voies opposées, une vérification de la présence de piétons au niveau de la sortie du TàG est nécessaire, afin de s'assurer qu'il est possible de traverser toute la *zone de conflit de l'intersection*, sans devoir s'arrêter, au risque de gêner la circulation opposée.

Concernant le positionnement adopté dans un TàG, il existe deux stratégies : l'*évitement* ou le *contournement*. Dans un évitement, les véhicules qui circulent en sens opposé et qui souhaitent tous deux effectuer un TàG se croisent de face, en passant l'un devant l'autre. Dans un contournement, les deux véhicules se croisent en passant l'un derrière l'autre.

6.3.2 Question de recherche et méthode

Comme nous l'avons identifié précédemment dans la littérature et les données d'accidents, le franchissement d'intersection est une situation dans laquelle les conducteurs seniors peuvent rencontrer des difficultés, voire commettre des erreurs critiques. Pour ces situations, nous avons identifié des problèmes en lien avec le respect des règles de priorité, le positionnement dans l'infrastructure, la détection d'autres véhicules ainsi que l'appréciation du risque de conflit de trajectoire. La réactivité avec laquelle la manœuvre de traversée est réalisée est également rapportée comme problématique pour certains auteurs.

Dans notre cas, nous nous focaliserons sur les étapes de réalisation du TàG par nos participants sans rentrer dans les détails des paramètres véhicules tels que la vitesse ou l'accélération latérale qui constituent une prochaine étape d'analyse.

6.3.3 Matériau disponible

6.3.3.1 Tourne-à-Gauche du parcours

Le parcours expérimental comporte dans sa version la plus étendue 7 manœuvres de TàG telles que nous l'entendons. En effet, nous englobons dans cette catégorie TàG uniquement les situations pour lesquelles la recherche d'un créneau d'insertion concerne un flux unidirectionnel circulant en sens opposé, dans un changement de direction vers la gauche. Pour 5 participants, la présence de travaux ont rendu impossible l'accès à une zone qui comporte 2 TàG consécutifs, suivie de deux intersections non prioritaires (détaillées à part) dans lesquelles les participants s'orientaient sur la gauche, qui forment donc un « carré », d'où le nom que nous lui donnons. Deux autres participants ont manqué l'accès à cette zone au premier passage et y sont repassés pour y entrer en tourne-à-droite (TàD). Les manœuvres de TàG à réaliser se situent dans des intersections non protégées, ou dans des carrefours à feux. Les infrastructures variaient également, en termes de forme du carrefour et de nombres de voies dans ce dernier. Le tableau 10 donne la répartition de ces différents TàG. La forme indique le nombre de routes qui se croisent au niveau de l'intersection (4 pour une croix X et 3 pour les autres), ainsi que l'orientation des routes entre elles (perpendiculaire pour X et T, oblique pour Y). La colonne Nb indique le nombre de participants qui ont effectivement emprunté l'infrastructure. La colonne Mon/AC indique si la situation faisait l'objet d'une évaluation systématique par la monitrice et d'une auto-confrontation. Les différents TàG sont présentés par ordre de rencontre lors du parcours.

TABLEAU 10 – TàG observés sur le parcours

Nom TàG	Forme	Signalisation	Nb	Mon / AC
Guillermin	Y	non régulé	76	X
Genas	X	feux tricolores	76	-
Poudrette 1	X	feux tricolores	76	X
Poudrette 2	X	feux tricolores	76	X
Carré entrée	X	non régulé	69	-
Carré 2	X	non régulé	71	-
Garnier	T	non régulé	76	X

6.3.3.2 Vue d'ensemble des observations en Tourne-à-Gauche

La figure 39 donne une vision synthétique des observations de la monitrice et des jugements des participants pour les TàG systématiquement évalués par notre experte et nos conducteurs. On retrouve donc de haut en bas les carrefours Guillermin, Poudrette 1, Poudrette 2 et Garnier.

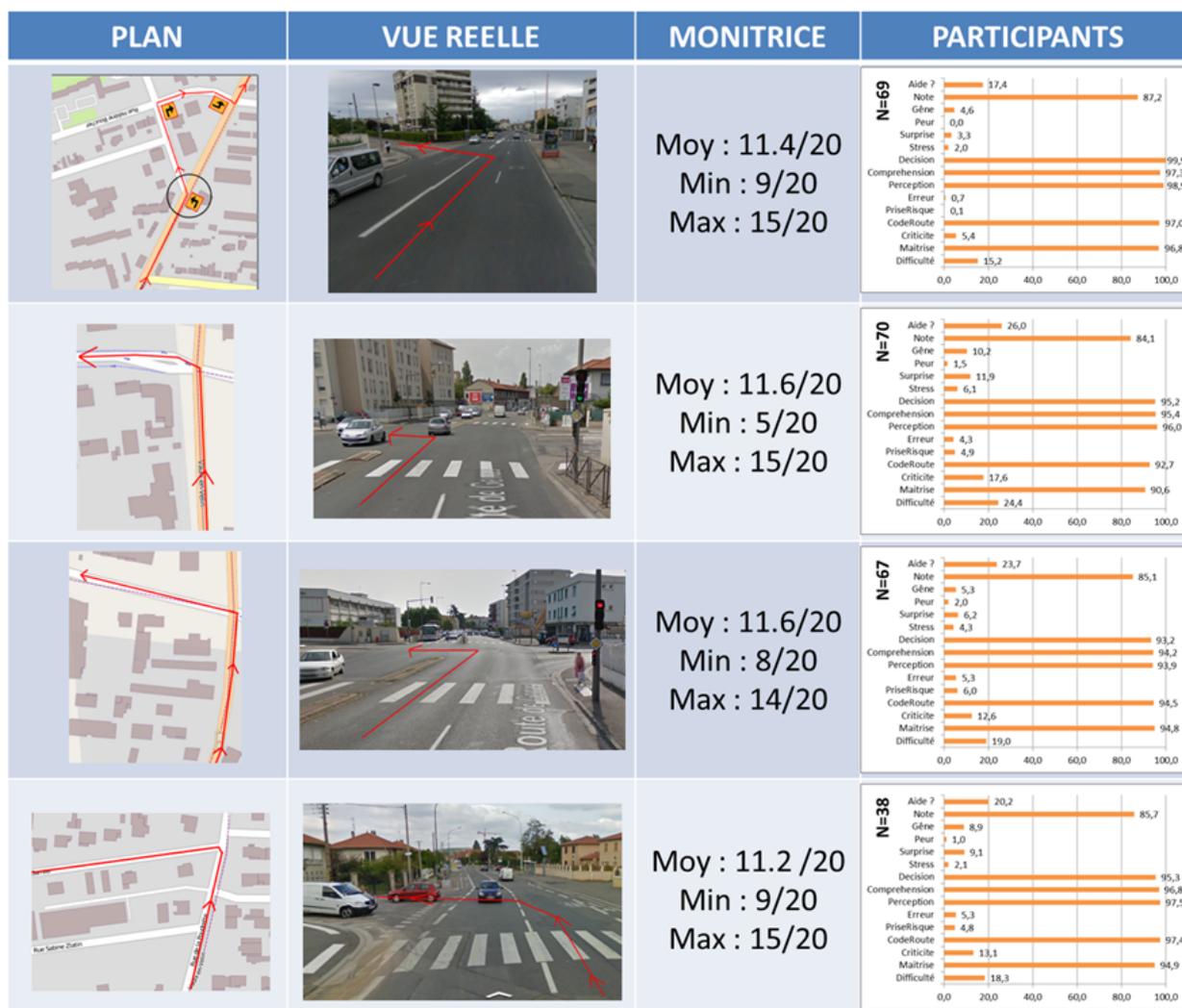


FIGURE 39 – Vue d'ensemble des observations en situations de TàG

Ce tableau indique, dans la colonne la plus à droite, le nombre d'auto-confrontations effectivement réalisées pour l'infrastructure considérée. Comme nous l'avons indiqué, nous avons régulièrement privilégié d'autres situations durant l'auto-confrontation dès lors que les participants nous indiquaient qu'il n'y avait rien à signaler pour cette situation.

Les valeurs moyennes présentées dans ces vues d'ensemble montrent qu'il y a une certaine homogénéité dans les évaluations moyennes réalisées par la monitrice, ainsi que pour les auto-évaluations moyennes proposées par les conducteurs.

6.3.4 Analyse des difficultés et des erreurs

6.3.4.1 Évaluation de la monitrice

Des remarques et commentaires ont été émis par la monitrice dans 64 situations de TàG et sont présentés dans le tableau 11.

TABLEAU 11 – Remarques monitrice pour les situations de TàG

Type remarque	Nb cas	Nb participants
trajectoire inadaptée à la visibilité de la circulation en sortie (dont cas incluant une vitesse trop élevée)	41 (3)	29 (3)
positionnement atypique en approche ou en position d'attente	12	12
sélection d'un créneau d'insertion présentant un risque	5	5
signallement tardif à l'aide du clignotant	5	4
hésitation à s'engager dans un créneau d'insertion présentant un risque	1	1

Concernant les notes locales attribuées pour les TàG du parcours, nous proposons de présenter celles qui concernent les TàG Poudrette 1 et 2 dans lesquels la majorité des situations problèmes se sont déroulées (20/35). Puisque nous nous intéressons aux franchissements de cette intersection dans les deux sens, nous disposons de 2 observations de cette manœuvre pour nos 76 participants, soit 152 observations au total. Prises individuellement, les 152 notes attribuées par la monitrice s'étendent de 5 à 15 sur 20 (de 5 à 15 pour poudrette1 et de 8 à 15 pour poudrette2). Cela signifie que des situations difficiles, voire critiques, ont été rencontrées dans les deux passages. Additionnées pour former une note sur 40 par participant, ces 76 notes s'étendent de 15 à 30 sur 40. La figure 40 présente les notes sur 20 attribuées à chaque participant pour les deux passages. Les participants sont classés sur l'axe horizontal, par ordre croissant (note sur 40 obtenue pour les deux passages tag_poudrette1 + tag_poudrette2).

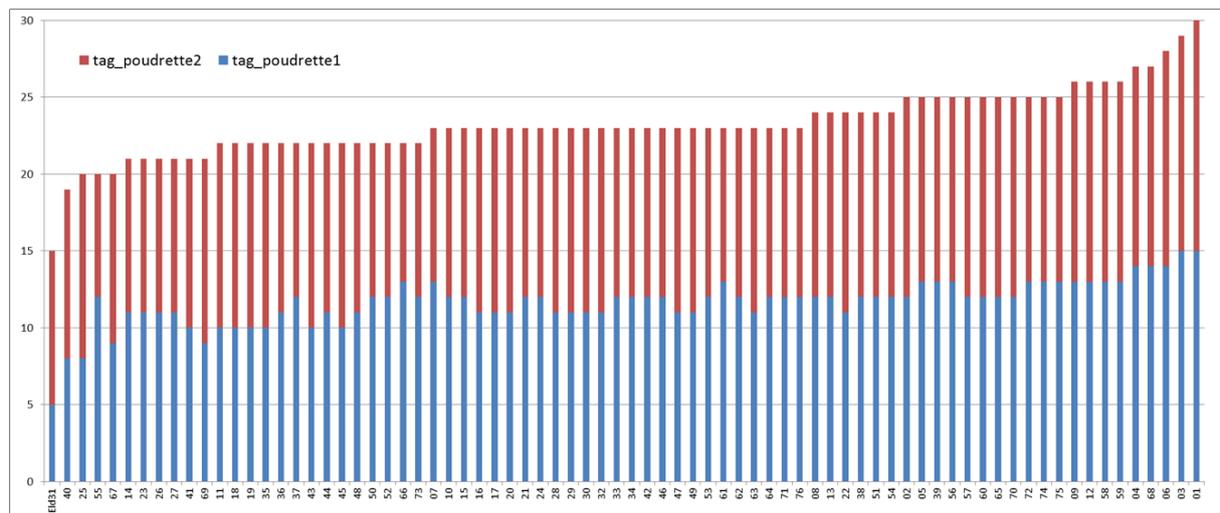


FIGURE 40 – Notes monitrice pour TàG poudrette1 et 2, par participant

Ce graphique donne une première information en termes de consistance de la performance des participants sur les deux passages, en tout cas en regard de la note attribuée par la monitrice. Si les notes les plus basses attribuées dans chaque passage ne concernent pas toujours les mêmes

participants, il apparait cependant que certains participants ont eu « en moyenne » plus de difficultés que d'autres pour ces deux TàG, ce qui peut provenir de l'aléatoire de la circulation, mais ce qui peut être également un indicateur de difficultés ou d'erreurs plus systématiques.

6.3.4.2 Classification des situations-problèmes

Nous avons identifié, **35 situations-problèmes pour l'ensemble des TàG** dont une classification est présentée dans le tableau 12.

TABLEAU 12 – Classification des situations-problèmes en TàG

Type de difficulté / erreur en TàG	Nb
Créneau d'insertion	10
Compréhension de l'infrastructure	8
Positionnement dans l'infrastructure	8
Gestion des piétons en sortie	5
Identification des règles de priorité	2
Décision d'entrer dans l'infrastructure	1
Défaillance multiple	1
TOTAL	35

Les problèmes concernant le créneau d'insertion sont les plus nombreux, avec 10 cas. On compte 5 cas de sélection de créneau d'insertion présentant un risque, pour lesquels la monitrice a du intervenir (**cas 4 ci-après**), ou nous rapporter cette information lors du compte rendu suivant la phase de conduite. Nous avons également identifié 3 cas pour lesquels l'identification de véhicules à contresens était rendue difficile par un phénomène de masquage, en lien avec la configuration de croisement et les autres véhicules présents dans l'infrastructure. Dans 2 autres cas, c'est la focalisation de l'attention du conducteur sur une partie seulement du flux arrivant à contresens qui a conduit celui-ci à s'engager dans la traversée, malgré un créneau d'insertion risqué (**cas 5 ci-après**).

Les problèmes en lien avec une mauvaise compréhension de l'infrastructure sont au nombre de 8. Les participants ont pu hésiter sur les règles de fonctionnement de l'infrastructure ou sur la trajectoire à emprunter (**cas 1 ci-après**), ce qui les a parfois amené à demander une confirmation à la monitrice. On constate, par exemple, des trajectoires coupées (notamment dans Tag_Garnier où les participants ont eu tendance à adopter une trajectoire plus courte) qui engendrait une position du véhicule au milieu des voies en sortie de TàG. Là encore, ceci s'avère problématique (et figure donc dans notre comptage) uniquement lorsque des véhicules circulaient à contresens en sortie de carrefour. On peut cependant dire qu'il s'agit d'une mauvaise stratégie pour certains conducteurs.

Un positionnement inadéquat dans l'infrastructure est constaté également dans 8 cas. Cela peut par exemple correspondre à une configuration de croisement dangereuse (**cas 2 ci-après**). La majorité des problèmes de ce type s'est présentée dans l'infrastructure Poudrette pour laquelle [Bellet, 1998] avait démontré que le choix du contournement est la stratégie la plus sécuritaire. En effet, en cas d'évitement, les véhicules se masquent mutuellement la vue des véhicules circulant à contresens, et la manœuvre de traversée peut alors s'avérer très dangereuse. Dans quelques cas, une position d'attente pouvant gêner la circulation a été observée (**cas 3 ci-après**). Pour un des TàG, nous avons observé pour 3 participants une confusion importante

concernant l'infrastructure les amenant à se positionner trop tôt à gauche, alors que la route est à double sens de circulation, avec une seule voie dans chaque sens (**cas 7 ci-après**). De plus, plusieurs participants semblent avoir l'habitude de donner un coup de volant dans le sens opposé de la direction dans laquelle ils s'apprêtent à tourner. Cette habitude n'est pas nécessairement problématique, mais elle peut présenter un risque. On compte par exemple 1 cas pour lequel un camion se trouvait sur la voie de droite sans que notre conducteur n'ait eu conscience d'empiéter sur sa voie.

La présence de piéton en sortie de TàG s'est présentée dans 5 cas que nous ne détaillerons pas de façon isolée. Nous privilégierons en effet un cas de défaillance multiple qui résulte d'une mauvaise compréhension de l'infrastructure et de la présence d'un piéton en sortie de TàG (**cas 6 ci-après**).

Dans 2 situations de TàG, deux conducteurs ont pensé qu'ils n'étaient pas prioritaires, ce qui a entraîné un fort ralentissement du trafic du fait de la présence d'autres véhicules en approche de l'intersection. Dans une autre situation, l'infrastructure présentait une circulation assez dense et notre conducteur a décidé d'entrer dans la zone de conflit, pensant que les véhicules présents pourraient s'engager avant que le feu ne passe au rouge. Malheureusement, le conducteur s'est retrouvé en cours de traversée des voies opposées alors que les flux perpendiculaires avaient le feu vert.

6.3.5 Analyses de cas

Cas 1 : Mauvaise compréhension de l'infrastructure

Le conducteur se trouve arrêté au feu derrière un bus qui a son clignotant à gauche et se situe au milieu des deux voies. Notre conducteur pense que le bus va donc s'engager dans le TàG devant lui, ce qui lui donnera du temps pour analyser l'infrastructure dans la phase d'approche (verbalisation entretien). En réalité le bus vient de redémarrer de son arrêt situé quelques dizaines de mètres avant le carrefour sur la droite (d'où son clignotant à gauche). Lorsque le feu passe au vert, le bus démarre et traverse l'intersection en allant tout droit. Notre conducteur se retrouve dans l'intersection et s'engage sur la gauche en l'absence de véhicules à contresens. Mais la trajectoire qu'il emprunte est orientée vers la voie opposée de la sortie du TàG. Le participant réalise son erreur et corrige rapidement sa trajectoire en visant la voie la plus à droite. La figure 41 présente une comparaison de l'angle volant (en degrés) en fonction du temps pour Eld25 qui a effectué une correction de trajectoire et Eld02 qui a adopté une trajectoire plus arrondie dans le même TàG.

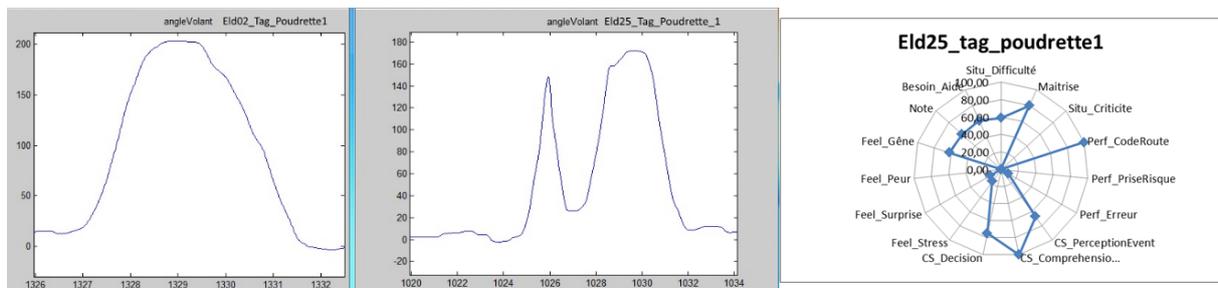


FIGURE 41 – Angle volant normal à gauche (Eld02) - signe d'une régulation à droite de Eld25 dans le TàG_Poudrette1 et ses auto-évaluations

Cas 2 : Configuration de croisement dangereuse

Le participant est en approche de l'intersection en circulant sur la voie de gauche. Devant lui, une camionnette est arrêtée au feu rouge et aucun véhicule ne se trouve derrière lui. Au moment où le conducteur redémarre, un véhicule arrive derrière lui. Le véhicule qui le précédait a traversé l'intersection tout droit et un véhicule en sens opposé souhaite effectuer un TàG, il va donc y avoir croisement. Notre conducteur se présente dans l'intersection avec un léger retard sur le véhicule à croiser qui est déjà arrêté au centre du carrefour. Notre conducteur souhaiterait réaliser un contournement mais le conducteur de l'autre véhicule semble privilégier l'évitement, configuration dans laquelle se trouve les deux véhicules. Cette configuration est très inconfortable, d'autant plus que le véhicule croisé est une petite camionnette qui empêche toute visibilité du trafic approchant en sens inverse (figure 42). Notre conducteur s'avance très lentement pour gagner en visibilité et freine lorsqu'il détecte l'arrivée d'un véhicule à contresens. C'est en avançant tout doucement qu'il va finir par identifier la possibilité de traverser l'intersection. Les auto-évaluations sont données en figure 42. Les jugements que le conducteur porte sur la situation montrent qu'il a une bonne conscience du caractère risqué de cette manœuvre (Difficulté=79 ; Criticité=82). Ce dernier considère néanmoins avoir bien géré la situation (maîtrise=84 ; Note=70) mais qu'il a été surpris par le comportement du conducteur du véhicule en face (Surprise=73 ; Compréhension=57) et qu'il estime avoir pris un certain risque dont il partage au moins en partie les torts (Prise_Risque=29 ; Erreur=39). Enfin, il estime qu'une aide aurait été très utile en attribuant 90% à Besoin_aide.



FIGURE 42 – Vue avant et jugements AC pour Eld14_Tag_Poudrette2

Cas 3 : Position d'attente gênant la circulation

Il y a beaucoup de trafic dans la situation, que ce soit derrière notre conducteur ou à contresens. Le participant est face à deux camionnettes qui souhaitent effectuer un TàG en sens opposé. Il s'avance au maximum dans le carrefour avec l'idée de contourner le second utilitaire et de passer. Mais la circulation sur la voie opposée est continue et notre conducteur se retrouve mal positionné dans l'infrastructure, ce qui ne facilite pas le passage des véhicules qui le précèdent et ceux qui arrivent en sens opposé (illustration figure 43). À en juger par ses auto-jugements, notre conducteur ne s'attendait pas à se retrouver coincé par la seconde camionnette (surprise=40%). Pour lui, la situation était relativement complexe (75% de difficulté ; criticité proche de 50%) et

il juge ne pas l'avoir mal maîtrisé (30%), en ayant commis une erreur en choisissant de s'avancer (erreur=40%). On peut également noter qu'il pense ne pas avoir respecté le code de la route (30%), pensant que le croisement par évitement était à privilégier. Or dans cette configuration, l'évitement se serait avéré d'autant plus risqué. Une aide quant à la position d'attente à adopter lui semble moyennement utile avec une valeur inférieure à 50%.

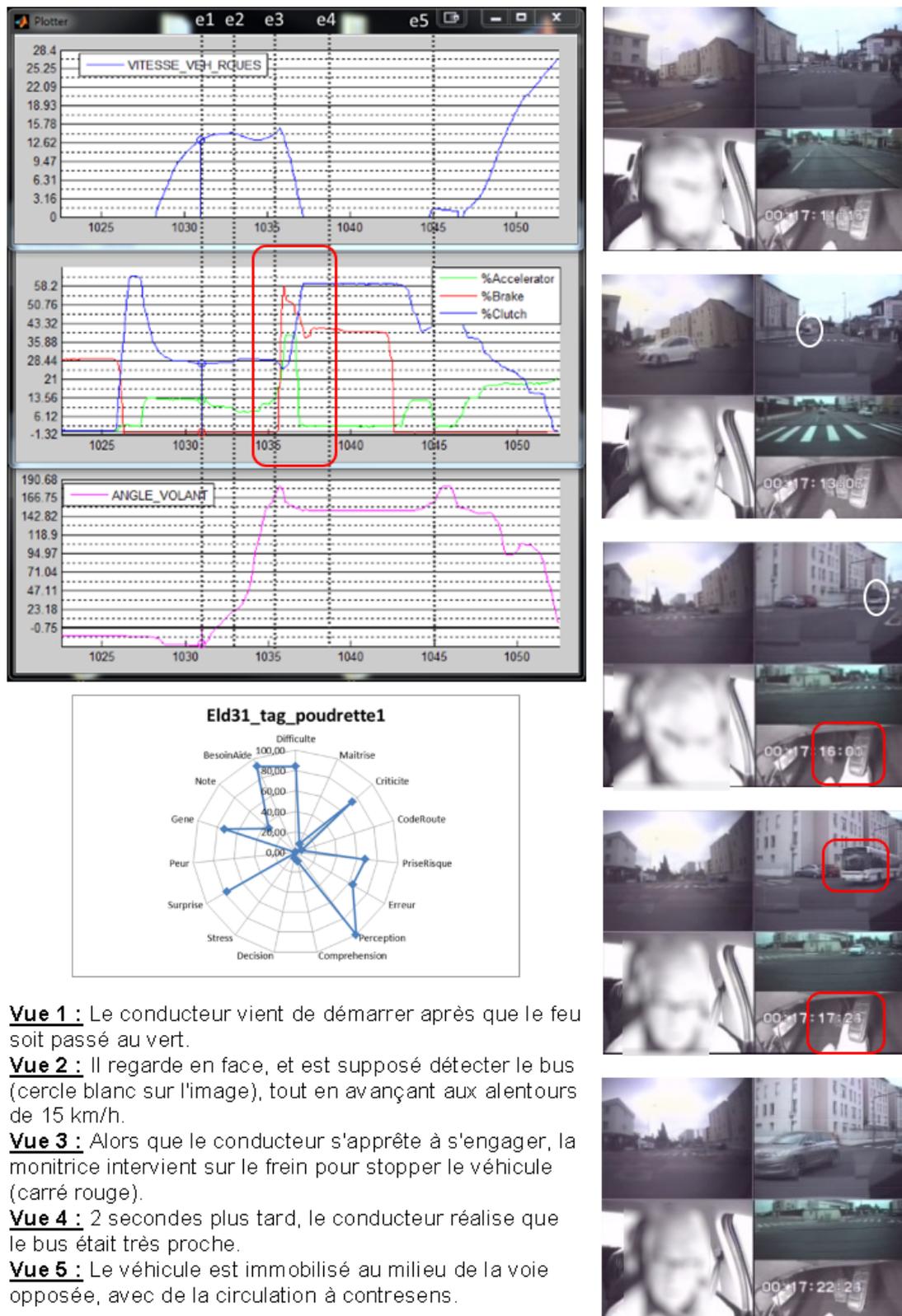


FIGURE 43 – Vues quadravision et AC pour position d'attente Eld67_tag_poudrette1

Cas 4 : Sélection d'un créneau d'insertion risqué

Le participant approche de l'intersection alors que le feu est rouge et s'arrête. Dans la voie opposée se trouve un véhicule lui aussi arrêté au feu rouge. Lorsque le feu passe au vert, le véhicule en face démarre (et va franchir l'intersection en allant tout droit), et deux véhicules arrivent lancés en sens opposé, une voiture sur la voie de gauche, et un bus sur la voie de droite. La voiture a déjà franchi la moitié du carrefour lorsque notre conducteur entre dans le carrefour, tandis que le bus se trouve à plusieurs dizaines de mètres de la zone centrale du carrefour. Le temps que notre conducteur progresse dans l'intersection, le bus se situe au niveau du feu tricolore de la voie opposée. Malgré cela, le conducteur engage sa manœuvre pour franchir l'intersection. La monitrice intervient en stoppant le véhicule qui se trouve alors au milieu de la voie de gauche de la route à contresens. Notre conducteur ne comprend pas immédiatement pourquoi le véhicule s'est immobilisé. Après que quelques voitures soient passées en sens inverse, il peut finaliser sa manœuvre et évacuer la zone de conflit.

Nous proposons de réaliser une chronique de cette situation qui aurait pu s'avérer catastrophique sans l'intervention de la monitrice (figure 44). On voit que le volant (courbe du bas) est clairement braqué sur la gauche et la pédale d'accélérateur va être enfoncée au moment où la monitrice a actionné le frein ($T=1335,5$, courbe du milieu) pour stopper le véhicule (vitesse nulle environ 1.3 seconde plus tard). **Le conducteur et la monitrice ont donc agi simultanément, en parfaite contradiction.** Cette chronique permet également d'établir que le bus se trouvait à un peu plus de 2 secondes de la zone de traversée que s'apprêtait à emprunter notre conducteur, ce qui est nettement court.



Vue 1 : Le conducteur vient de démarrer après que le feu soit passé au vert.

Vue 2 : Il regarde en face, et est supposé détecter le bus (cercle blanc sur l'image), tout en avançant aux alentours de 15 km/h.

Vue 3 : Alors que le conducteur s'apprête à s'engager, la monitrice intervient sur le frein pour stopper le véhicule (carré rouge).

Vue 4 : 2 secondes plus tard, le conducteur réalise que le bus était très proche.

Vue 5 : Le véhicule est immobilisé au milieu de la voie opposée, avec de la circulation à contresens.

FIGURE 44 – Chronique d'activité Eld31_Tag_Poudrette1

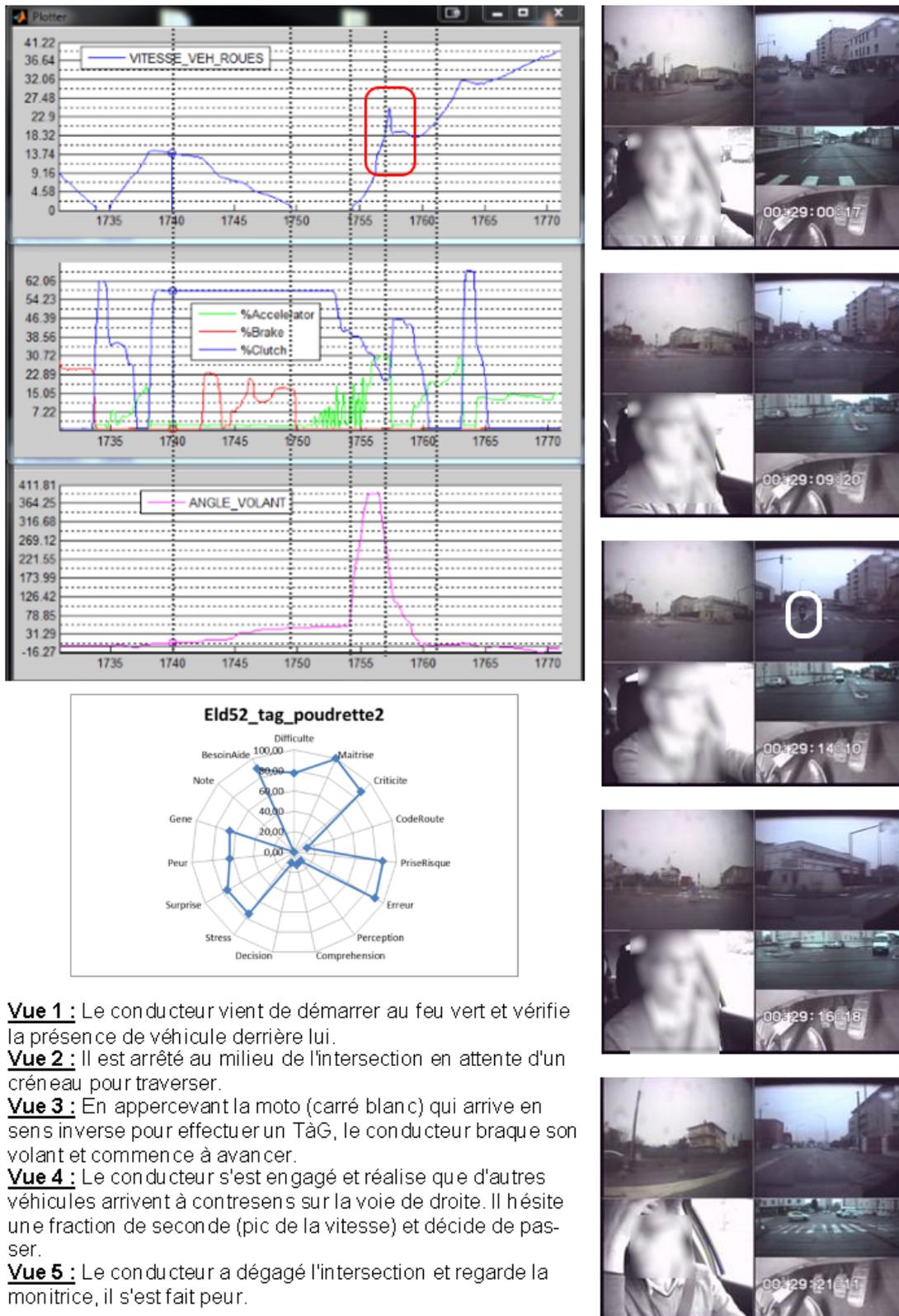
Au vu des auto-évaluations, le conducteur n'était probablement pas conscient du problème au moment où il a amorcé sa manœuvre mais il évalue la situation comme très difficile et dangereuse

(Difficulté=84 ; Criticité=74) et reconnaît sa performance comme mauvaise (Prise_Risque=68 ; Erreur=64 ; Decision=6 ; Note=35 ; Code_Route=9). Il exprime avoir vu le véhicule (Perception=100%) mais que son jugement quant au temps disponible pour traverser en sécurité était totalement erroné (Compréhension=0%). Il reconnaît également que l'aide de la monitrice a été très utile et donc qu'une aide est très souhaitable (Besoin_aide=92%).

Cas 5 : Focalisation sur une partie du flux opposé seulement

La figure 45 présente une chronique de cette situation. Le participant approche lentement du feu de l'intersection qui est rouge, une voiture est devant lui à l'arrêt. Dans le sens opposé, plusieurs véhicules sont arrêtés au feu. Le feu passe au vert quelques instants plus tard, le véhicule qui précède notre véhicule traverse l'intersection en allant tout droit et notre conducteur se présente dans l'intersection alors que les voitures en sens inverse traversent le carrefour en allant tout droit. Après ces voitures, il y a deux 2-roues qui s'approchent, un sur chaque voie. La moto circulant voie de gauche actionne son clignotant pour indiquer son intention de tourner à gauche. Arrivé au niveau de l'intersection, le motard circule à une vitesse basse et se positionne dans une configuration d'évitement. Dans les secondes qui précèdent son arrivée face à lui, notre conducteur effectue une vérification dans son rétroviseur central (afin de vérifier si des véhicules le précèdent), puis en direction de la sortie du TàG. Il décide donc de s'engager, sans avoir vérifié que le temps qui le sépare des véhicules arrivant plus loin en sens inverse est suffisant pour réaliser la manœuvre. Après avoir amorcé sa traversée, le participant vérifie la zone ex6 et se rend compte de la présence de véhicules arrivant en sens inverse. Notre conducteur verbalise après ce TàG en se passant la main sur le front « je regardais la moto ». La monitrice nous indiquera au retour que le participant a eu peur dans cette situation et que le créneau d'insertion présentait un risque.

Lors du démarrage de l'entretien post-conduite, le conducteur a évoqué spontanément cette situation. Il a expliqué qu'il s'était trop focalisé sur les 2-roues qui approchaient et qu'il avait commis une grosse erreur. Là encore, nous proposons de réaliser une chronique de cette situation. Toutes les valeurs d'AC montrent que le conducteur juge sa conscience de la situation *in situ* comme totalement erronée et par conséquent sa performance très mauvaise, incluant une prise de risque importante et non consciente. En conséquence, la volonté de disposer d'une aide dans cette situation atteint 89%.



Vue 1 : Le conducteur vient de démarrer au feu vert et vérifie la présence de véhicule derrière lui.

Vue 2 : Il est arrêté au milieu de l'intersection en attente d'un créneau pour traverser.

Vue 3 : En apercevant la moto (carré blanc) qui arrive en sens inverse pour effectuer un TàG, le conducteur braque son volant et commence à avancer.

Vue 4 : Le conducteur s'est engagé et réalise que d'autres véhicules arrivent à contresens sur la voie de droite. Il hésite une fraction de seconde (pic de la vitesse) et décide de passer.

Vue 5 : Le conducteur a dégagé l'intersection et regarde la monitrice, il s'est fait peur.

FIGURE 45 – Chronique Eld52_Tag_Poudrette2 - focalisation sur une partie du flux opposé

Cas 6 : Mauvaise compréhension de l'infrastructure et Piéton en sortie

La participante s'approche de l'intersection alors qu'un véhicule plus loin devant elle est arrêté au feu rouge. Arrivée à quelques dizaines de mètres de ce véhicule, le feu passe au vert, le véhicule qui la précède démarre et va tout droit. Notre conductrice se présente dans l'intersection avec plusieurs véhicules circulant en sens opposé. Un de ces véhicules tourne à droite, dans la rue où notre conductrice doit aller. Les voitures qui précèdent ce véhicule sont relativement loin et notre conductrice décide de s'engager en suivant ce véhicule qui tourne à droite. Or ce véhicule marque un arrêt pour laisser passer un piéton qui s'engage dans son sens de circulation. La monitrice intervient verbalement en indiquant à 2 reprises « *attention le piéton* », et actionne le frein et l'embrayage pour stopper le véhicule en même temps que notre conductrice. Notre conductrice se retrouve donc immobilisée avec l'arrière de son véhicule qui occupe encore une partie de la zone de conflit de l'infrastructure pendant plus de 4 secondes (le temps que le piéton termine sa traversée), alors que d'autres véhicules arrivent à contresens.

Lors de l'entretien post-conduite, la conductrice nous a indiqué avoir décidé de s'engager simultanément au véhicule qui tournait à droite en sens opposé en pensant qu'il y avait deux voies. Elle indiquera avoir été très surprise par la présence de ce piéton qu'elle n'avait absolument pas identifié. La figure 46 présente la situation au moment où la monitrice s'apprête à freiner et les auto-évaluations de la conductrice pour cette situation. On voit sur la vidéo le piéton, le véhicule à contresens en cours de TàD et les pieds de la monitrice au dessus des pédales. Une chronique de cette situation est disponible en **annexe E**.

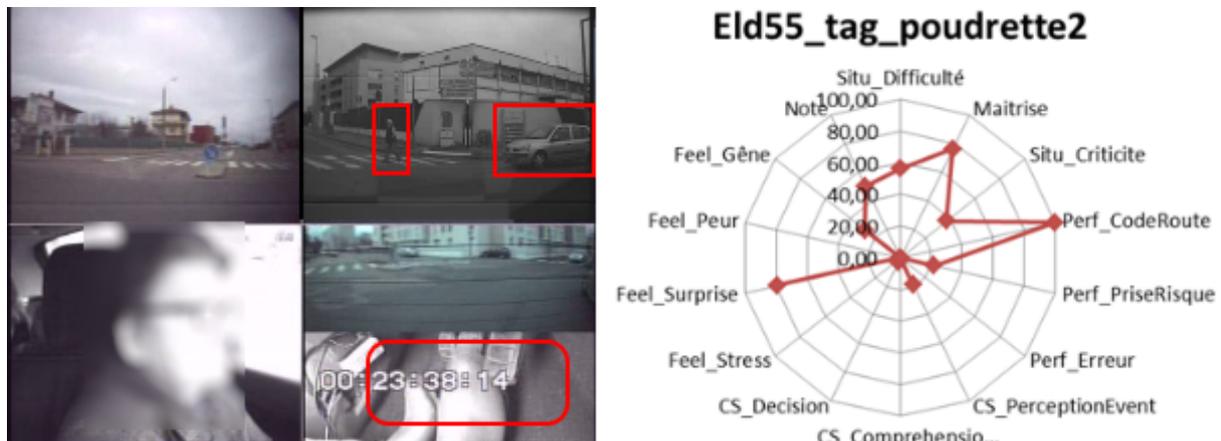


FIGURE 46 – Vues vidéo et jugements AC Eld55_Tag_Poudrette2

Cas 7 : Cas extrême de représentation mentale erronée en TàG

La figure 47 présente un cas de mauvaise représentation mentale en situation de TàG. La conductrice a pour consigne de tourner à gauche à la prochaine intersection, elle a donc ralenti mais s'est déportée sur la voie opposée, sans visibilité sur la circulation à contresens. Un véhicule est d'ailleurs en approche à contresens, la conductrice s'arrête. Entre les deux images présentées, un monospace la dépasse par la droite (puisque'elle est située au milieu des deux voies). Il faut près de 5 secondes à la conductrice et une indication de type « *allez-y, ils nous laissent passer* » de la part de la monitrice pour qu'elle prenne la décision de terminer sa traversée. Pendant quelques

secondes, on peut dire que la conductrice a pensé qu'elle était bien placée pour attendre que les deux véhicules continuent leur chemin. En réalité, on voit sur la droite de la figure que notre conductrice se trouve sur la mauvaise voie de circulation. Ce cas s'est présenté pour deux autres participantes dans des configurations quasiment identiques, ce qui montre que cette configuration peut engendrer des erreurs de représentations mentales en lien avec une mauvaise instanciation du schéma tactique du TàG (qui reviendrait à octroyer l'espace qui correspond en réalité au trottoir situé sur la gauche de notre conductrice à une portion roulable à contresens).



FIGURE 47 – Illustration d'une représentation mentale erronée

6.3.6 Conclusion synthétique et perspectives

Les observations que nous rapportons montrent que les situations de TàG ne sont pas dépourvues de difficultés ou d'erreurs pour nos conducteurs seniors. Cela confirme les éléments issus de la littérature et de l'accidentologie qui placent le TàG parmi les contextes les plus risqués.

Pour ce qui concerne la trajectoire coupée, nous projetons des analyses plus systématiques. Parmi les indicateurs possibles, [Chen et al., 2013] évoquent la mesure d'un DFM (*Deviation from midline*) qui est la plus grande distance entre le centre de la voie cible et la trajectoire du conducteur, applicable au TàG.

Concernant les créneaux d'insertion, des investigations ont été réalisées pour savoir si le radar avant pouvait permettre de produire une mesure, grâce au soutien de Continental. Les premiers résultats ont montré une possibilité de détecter les véhicules en approche pour remonter au créneau d'insertion, mais pour un nombre restreint de cas. Une modification du dispositif de mesure disponible sur le véhicule instrumenté est à l'étude pour obtenir de meilleurs résultats.

Néanmoins, pour les problèmes en lien avec la compréhension de l'infrastructure (trajectoires possibles, règles de priorité) ou le positionnement dans cette infrastructure, nous avons du matériel qui sera utilisé pour réfléchir à des fonctions de monitoring.

D'autres analyses sont en cours, notamment concernant les paramètres véhicules tels que la vitesse du véhicule ou les accélérations longitudinales et latérales. Pour des cas plus locaux (pour lesquels un piéton était présent en sortie par exemple), le codage manuel pourra être réalisé afin d'analyser les stratégies visuelles des conducteurs dans leur activité en TàG.

6.4 Les franchissements de Rond-Point

Le Rond-Point est un sous-type d'intersection non prioritaire régulé par un cédez-le-passage et dans lequel la dynamique de la situation peut également s'avérer problématique pour les conducteurs séniors.

6.4.1 Tâche de conduite dans un Rond-Point

Pour décrire l'activité en situation de franchissement de Rond-Point, nous proposons un schéma tactique d'un Rond-Point sur une infrastructure du parcours (figure 48).

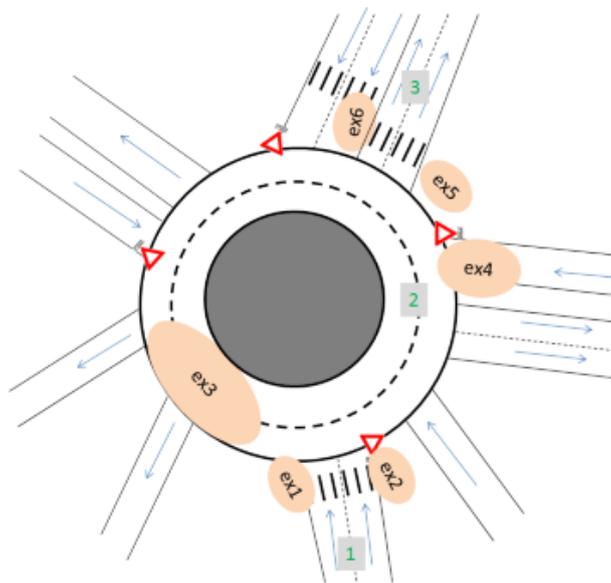


FIGURE 48 – Schéma tactique de franchissement de Rp_7Chemins

Les participants doivent s'insérer avant ou après avoir identifié la direction à suivre. Pour s'insérer, il est nécessaire de contrôler la présence de véhicules sur sa gauche. Pour cette manœuvre, le code de la route stipule que l'on doit se placer sur la voie de droite, que ce soit en connaissant la direction à suivre dans notre cas (en face), ou lorsque l'on recherche sa direction. En matière de signalement, le clignotant à droite est obligatoire pour indiquer sa sortie. Les zones oranges de la figure constituent des zones d'exploration perceptives attendues. On y trouve les deux côtés de la route par laquelle les participants arrivent et où des piétons sont susceptibles de traverser. Ensuite, la portion de l'anneau dans laquelle la présence d'un véhicule doit être vérifiée avant de prendre la décision de s'insérer (ex3). Une fois engagé dans l'anneau, une vérification de l'arrivée de véhicules en provenance de la droite (ex4) est également attendue. Enfin, la présence de piétons avant de s'engager dans la sortie du rond-point est un point de contrôle important (ex5 et ex6). Concernant les zones de déplacements, nous ne les avons pas matérialisées sur le schéma. En effet, la trajectoire est libre pour chaque participant. L'axe que doivent suivre nos participants est constitué de deux voies de circulation sur toute sa longueur. La manœuvre consiste à se rendre de l'entrée (1) du rond-point à la sortie (3), en passant par l'anneau (2).

6.4.2 Question de recherche et méthode

Les éléments que nous avons rappelés concernant les problèmes rencontrés par les seniors en situation d'intersection reste valables pour les ronds-points. Pour ces situations, la dimension de navigation est cependant plus importante puisque les conducteurs doivent identifier la sortie à prendre lors de leur traversée. La littérature nous a montré qu'identifier un panneau parmi un ensemble de signes directionnels et lire l'information peut être plus compliqué pour des conducteurs âgés. Cette tâche de navigation pourra impacter d'autres aspects de la conduite tels que le positionnement dans l'infrastructure. Nous l'avons indiqué également, le signalement de ses intentions est d'importance pour les ronds-points, il s'agira d'observer l'usage qu'en font nos conducteurs dans les ronds-points. De plus, le maintien à jour d'une bonne conscience de ce qui entoure le véhicule est nécessaire dans ces situations afin de gérer les interactions avec les autres usagers.

L'absence de données oculométriques est certes préjudiciable mais nous pouvons analyser la conduite de nos participants à partir d'un phasage de l'activité en Rond-Point, l'enregistrement vidéo, et l'utilisation du clignotant.

6.4.3 Matériau disponible

6.4.3.1 Ronds-Points du parcours

Le parcours expérimental comporte 6 ronds-points (Rp) qui sont détaillés dans le tableau 13. Ces Rp diffèrent par leur diamètre (proportionnel au nombre de routes qui sont connectées par le Rp), par le nombre de voies de circulations à l'intérieur de l'anneau (de 1 à 2 dans notre cas), et par les directions que nos participants devaient emprunter. Une des particularités de ces Rp est qu'aucun d'entre eux ne dispose d'un panneau global situé en approche. Ceci a gêné bon nombre des participants à l'expérimentation, qui nous ont expliqué être très attachés à cette signalisation lorsqu'ils évoluent sur un itinéraire inconnu.

TABLEAU 13 – Rp observés sur le parcours

Nom Rp	Direction	Nb routes	Nb voies	Nb	Mon / AC
Rp_Chassieu	Demi-tour	5	2	76	X
Rp_7Chemins	Tout-droit	7	2	76	X
Rp_Dumas	Tout-droit	4	1	78	-
Rp_Garnier	Tout-droit	5	1	75	-
Rp_Canal	À gauche	4	1	76	-
Rp_CxLuiset	À gauche	5	2	75	X

6.4.3.2 Vue d'ensemble des observations en Ronds-Points

La figure 49 donne une vision synthétique des observations de la monitrice et des jugements des participants pour les ronds-points systématiquement évalués par notre experte et nos conducteurs. On retrouve donc de haut en bas les ronds-points, Rp_Chassieu, 7Chemins et CxLuiset.

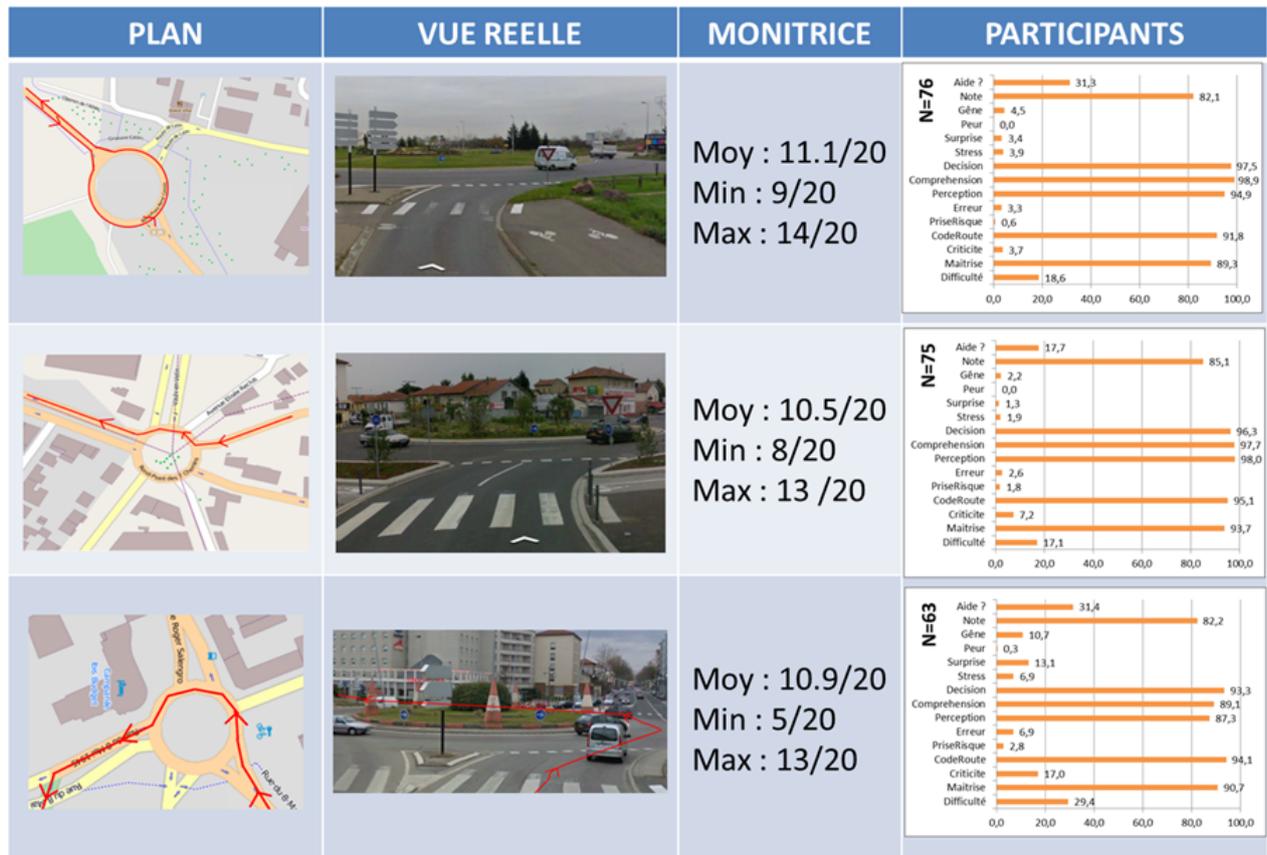


FIGURE 49 – Vue d'ensemble des observations en franchissement de Ronds-Points

Ce tableau indique, dans la colonne la plus à droite, le nombre d'auto-confrontations effectivement réalisées pour l'infrastructure considérée. Comme nous l'avons indiqué, nous avons régulièrement privilégié d'autres situations durant l'auto-confrontation dès lors que les participants nous indiquaient qu'il n'y avait rien à signaler pour cette situation.

On voit à travers cette vue d'ensemble qu'il y a une certaine homogénéité dans les évaluations moyennes réalisées par la monitrice, ainsi que pour les auto-évaluations des conducteurs, à l'exception de la dimension de difficulté.

6.4.4 Analyse des difficultés et des erreurs

6.4.4.1 Évaluation de la monitrice

Les remarques et commentaires émis par la monitrice pour ces situations sont présentés dans le tableau 14.

Concernant les notes locales attribuées pour les ronds-points, nous avons additionné les notes attribuées à chaque participant pour les 3 Rp qui faisaient l'objet d'une évaluation afin de classer les participants. Nous affichons sur le graphique présenté figure 50 les notes attribuées par participant pour le Rp_7Chemins et son équivalent Rp_CxLuiset (pour lequel la tâche de navigation était un peu plus complexe mais pour lequel la monitrice indiquait que la sortie se situait sur la gauche).

TABLEAU 14 – Remarques monitrice pour les franchissements de Ronds-Points

Type remarque	Fréquence
Difficulté de navigation	++
Mauvais positionnement durant le franchissement	++
Absence de contrôle de l'angle mort en sortie	++
Créneau d'insertion inadapté	+
Signallement absent ou inapproprié	-
Lenteur dans l'anneau	-

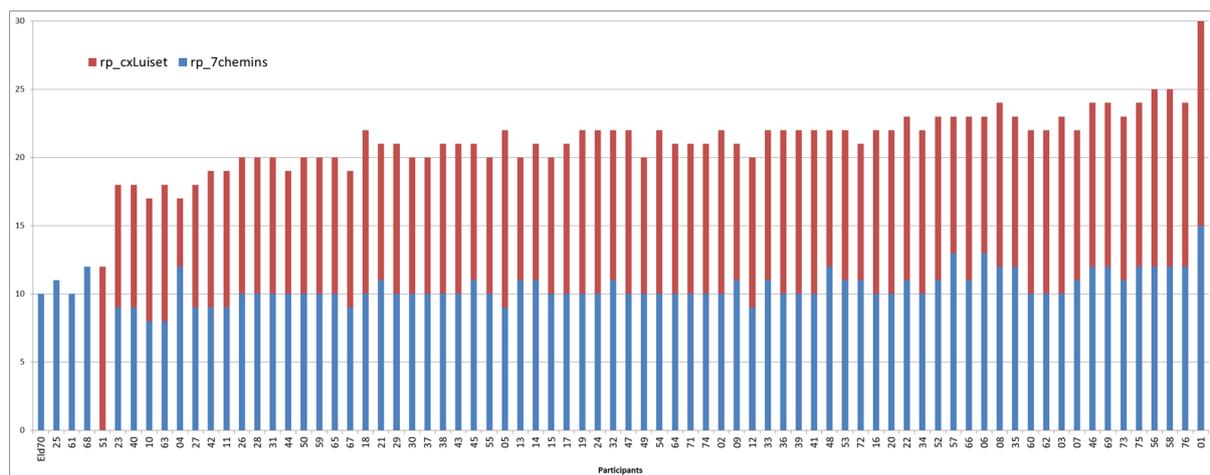


FIGURE 50 – Notes monitrice pour Rp_7Chemins et Rp_CxLuiset, par participant

On retrouve sur la gauche nos deux participants qui n'ont pas franchi Rp_CxLuiset pour cause de détour (Eld25) ou pour une erreur de navigation (Eld68). Toujours à gauche, les participants Eld70, Eld61 et Eld51 ont une note manquante sur un des trois Rp du parcours (oubli de la monitrice). Pour les participants qui ont leur deux notes, on constate que certains sont stables dans leur performance et d'autres ont été moins efficaces dans un des ronds-points. Pour Eld04 par exemple, on voit que le passage dans le second rond-point a posé problème puisqu'il n'obtient qu'un 5/20 (contre 12 au premier rond-point).

6.4.4.2 Classification des situations-problèmes

Nous avons identifié **27 situations-problèmes pour l'ensemble des Ronds-Points** du parcours, dont une classification est présentée dans le tableau 15.

TABLEAU 15 – Classification des situations-problèmes en Ronds-Points

Type de difficulté / erreur en Rond-Point	Nb
Positionnement dans l'anneau	8
Approche	7
Créneau d'insertion	6
Vitesse dans l'anneau	2
Gestion de la sortie	3
Règles de priorité dans l'anneau	1
TOTAL	27

Le positionnement dans l’anneau se révèle problématique dans 8 cas. Ils correspondent à des situations dans lesquelles les conducteurs n’ont pas correctement maintenu leur voie en changeant au moins une fois de voie sans signallement et/ou vérification adaptée à l’aide des rétroviseurs et des mouvements de têtes. Pour les cas listés ici la présence d’autres véhicules dans le voisinage de nos participants augmente le risque de ce type de manœuvre (**cas 3 ci-après**).

Les problèmes concernant l’approche sont les deuxièmes plus nombreux avec 7 cas. Ils regroupent tout ce qui s’est déroulé avant l’entrée dans l’anneau durant la phase de régulation en approche durant laquelle les conducteurs sont en décélération et en cours de recherche d’un créneau d’insertion et/ou de la direction à suivre. On compte 1 cas de défaut de maîtrise de la trajectoire en approche qui a nécessité l’intervention de la monitrice sur le volant pour ne pas heurter le trottoir. Un autre cas implique un effet de surprise lié à la présence d’un piéton souhaitant traverser qui provoque un freinage brusque. Trois autres cas sont du même ordre mais l’effet de surprise provient d’un véhicule détecté tardivement dans l’anneau qui amène à marquer l’arrêt, en présence de véhicules derrière soi. Dans un de ces cas de freinage brusque en approche, le véhicule qui suivait notre participante a fait crisser ses pneus en donnant lui aussi un coup de frein.

La décision de s’engager dans l’anneau a été problématique dans 6 cas, correspondant à une insertion en présence d’un véhicule prioritaire dans l’anneau. On compte notamment 2 cas classés en *refus de priorité* par notre monitrice (cf. **Eld63 dans l’ensemble de cas 2 ci-après**).

Deux conducteurs ont fortement ralenti (presque arrêt) alors qu’ils évoluaient dans le rond-point à la recherche de la direction à suivre. La gestion de la sortie en présence de piétons ou de véhicules en double file a été moyenne pour 3 cas, un impliquant un piéton (**cas 4 ci-après**), un autre impliquant un cycliste engagé et enfin un véhicule de balayage qui a hésité à sortir devant notre conducteur. On compte enfin un cas de quasi arrêt dans l’anneau pour cause de véhicules en approche à une des entrées que la conductrice pensait prioritaires.

L’analyse des stratégies visuelles serait très intéressante dans les ronds-points où elles semblent être sous-optimales pour certains (**ensemble de cas 1 ci-après**).

6.4.4.3 Analyse détaillée d’un Rond-Point du parcours

Parmi les Ronds-Points que nous avons observés, nous avons choisi de présenter une analyse détaillée du Rp_7Chemins (dont nous avons présenté le schéma tactique en introduction, figure 48). Il correspond en effet à une configuration typique de Rp à deux voies de circulation avec une direction à suivre qui est relativement simple à identifier (peu de panneaux de directions), ce qui minimise l’impact de la tâche de navigation dans l’activité de conduite.

Dans cette infrastructure, les participants circulent sur une 2 voies en milieu urbain qui débouche sur le Rp. Des passages piétons se situent à chaque embranchement du Rp. La route immédiatement à gauche de l’accès par lequel les participants empruntent ce Rp est une voie de sortie uniquement. Les deux routes situées plus à gauche encore permettent en revanche d’accéder au Rp. Le flux de circulation y est variable en fonction des heures de la journée mais on peut considérer que les flux principaux s’écoulent selon l’axe nord-sud (dans les deux sens), et l’axe ouest-est. La figure 51 présente une vue satellite et une vue conducteur de cette infrastructure.



FIGURE 51 – Vues satellite et conducteur du Rp_7Chemins

À une centaine de mètres du rond-point, la monitrice indique au participant « *au prochain rond-point, nous suivrons la direction du périphérique* ». La figure 51 indique la position du panneau directionnel dans l'infrastructure.

A - Prototypes de trajectoires - Rp_7Chemins

Nous proposons de détailler la position du véhicule du participant dans les voies (droite ou gauche), dans les 3 zones (entrée, anneau et sortie). Comme il n'est pas toujours évident de déterminer si le participant se situe à droite ou à gauche, nous avons ajouté une position milieu qui indique que le véhicule n'est pas parfaitement dans une voie mais évolue au milieu de la route. Le tableau 16 donne la répartition des trajectoires adoptées par les participants dans le Rp considéré. On constate que trois prototypes majeurs de trajectoires apparaissent. Le premier (D-milieu-D) correspond à une entrée à droite suivie d'un franchissement de la partie courbée avec un déport sur la voie de gauche, avant de sortir sur la voie de droite. Le second prototype (D-G-D) est identique au précédent pour l'entrée et la sortie mais la position du véhicule dans l'anneau est clairement plus à gauche. Le troisième prototype correspond à un franchissement plus académique du rond-point étant donné la direction à suivre. On peut noter que de façon générale, les participants sont entrés voie de droite (seulement 6 cas d'entrée voie de gauche, et 3 cas d'entrée en étant au milieu des deux voies).

Or comme nous l'avons évoqué, la trajectoire en elle-même n'est pas imposée au participant. En revanche, le choix d'une trajectoire en particulier suppose un certain signallement de ces intentions adapté, accompagné de contrôles visuels pour réaliser les changements de voies en sécurité.

TABLEAU 16 – Répartition des trajectoires dans Rp_7Chemins

Entrée	Anneau	Sortie	Nb	%
D	milieu	D	28	37
D	G	D	19	25
D	D	D	15	20
G	G	milieu	5	7
milieu	G	D	3	4
D	milieu	G	2	3
D	milieu	milieu	2	3
D	G	G	1	1
G	G	D	1	1

B - Utilisation des clignotants - Rp_7Chemins

Considérons l'utilisation du clignotant dans cette infrastructure. Comme indiqué dans le code de la route, la réalisation de cette manœuvre de franchissement de rond-point nécessite, a minima, l'utilisation du clignotant droit pour prendre la sortie. De la même manière que pour la position sur la route entre l'entrée, l'anneau et la sortie, nous avons répertorié l'utilisation des clignotants droite et gauche durant le franchissement du rond-point. Le tableau 17 présente les résultats.

TABLEAU 17 – Utilisation des clignotants dans Rp_7Chemins

Signallement	Nb	%
dans l'anneau, à droite (aD)	41	31
aucun clignotant	8	6
eG + aD	8	6,0
aG + pour la sortie à droite (sD)	2	1,5
à l'entrée à droite (eD)	2	1,5
eD + sD	2	1,5
sD	2	1,5
eD + aG + aD	1	1
eG + sD	1	1

On constate en premier lieu qu'une large majorité des conducteurs signalent leur sortie en activant leur clignotant droit. Dans un second temps, on constate que 8 participants n'ont pas du tout actionné de clignotant. Si l'on croise cette information avec le prototype de trajectoire emprunté par ces participants, on s'aperçoit que 3 cas correspondent à la trajectoire la plus adaptée (D-D-D), ce qui constitue malgré tout une faute au sens du code de la route. Ensuite, on retrouve deux trajectoires qui supposent un chevauchement/changement de voie dans l'anneau (D-milieu-D pour 2 cas, D-G-D pour 2 autres). Un dernier cas correspond à un chevauchement des voies au niveau de la sortie (G-G-milieu). Deux cas attirent notre attention, ce sont ceux pour lequel le clignotant droit a été activé dès l'entrée du Rp. En effet, en négociant la partie courbée de l'anneau, le rappel mécanique du clignotant qui se trouve sur le volant a de forte chance de s'enclencher, désactivant le clignotant. Cette stratégie très en amont peut avoir un impact sur la compréhension des intentions du conducteur par les autres, notamment ceux qui se présentent depuis l'entrée correspondant à ex4. Un clignotant activé trop tôt peut faire penser que le conducteur s'oriente vers la première sortie alors qu'un clignotant désactivé au cours du franchissement ne correspond pas au signallement de la manœuvre effective. Nous avons en effet observé pour ces deux cas une insertion d'un véhicule provenant de la droite alors que nos conducteurs se trouvaient dans l'anneau. Sans pouvoir affirmer que cela ne relève pas exclusivement d'un opportunisme de la part de ces autres véhicules, l'ambiguïté du signallement peut avoir impacté leur décision de s'engager dans l'anneau en présence d'un de nos conducteurs, alors prioritaire.

À noter que certains de nos conducteurs étaient d'anciens professionnels de la route, et notamment des conducteurs de véhicules lourds. Pour ce type de véhicule, il est d'usage, pour franchir un Rp en allant tout droit, de se signaler d'abord à gauche en entrée (un camion aura en effet tendance à mordre les voies dans un anneau à deux voies), et à droite en sortie. Certains conducteurs nous ont indiqué avoir gardé cette habitude de conduite.

C - Phasage de l'activité - Rp_7Chemins

Une analyse en termes de phases d'activité peut également nous aider à identifier les scénarios problématiques dans ce type d'infrastructure. Les quatre phases d'activité que nous identifions sont (1) l'identification de la direction à suivre, (2) le positionnement en entrée et l'insertion dans l'anneau, (3) le franchissement de l'anneau et (4) la gestion de la sortie.

Phase 1 - repérage de la direction à suivre La monitrice a été contrainte de compléter l'information de direction pour 8 participants (soit dans 6% des cas). Comme nous l'avons précisé, la dimension du suivi d'itinéraire n'est pas central dans nos analyses donc nous ne nous étendrons pas sur le sujet.

Phase 2 - positionnement en entrée Intéressons-nous aux cas où le conducteur se place voie de gauche en entrée (6 cas). Pour 2 conducteurs, un obstacle sur la voie de droite les contraint à se positionner à gauche. Pour 3 autres, ils circulent depuis le carrefour précédent sur la voie de gauche et n'ont pas choisi de se rabattre plus tôt. Enfin, un conducteur s'est placé délibérément voie de gauche en pensant connaître la direction à suivre et s'est rendu compte qu'il aurait dû rester voie de droite.

Phase 2 - approche La densité de la circulation peut avoir contraint les participants à fortement ralentir voire s'arrêter, et donc s'insérer en étant quasiment à l'arrêt. Dans d'autres cas, les participants ont pu appliquer une stratégie de régulation consistant à ralentir éventuellement pour repérer la direction, mais surtout vérifier s'il est possible de s'engager en profitant de l'élan du véhicule. Sur les 76 participants, une large majorité a fait en sorte de réguler pour ne pas avoir à s'arrêter (56 cas). Parmi les 20 conducteurs restant, 19 ont été contraints de s'arrêter et l'on fait avant le marquage du cédez-le-passage.

Phase 2 insertion Concernant l'insertion à proprement parlée, là encore, il n'existe pas de règle absolue, si ce n'est de céder le passage à un véhicule qui se trouverait déjà dans l'anneau. Pour ce faire, il est donc a priori nécessaire de contrôler la présence de véhicule sur la gauche, si possible, juste avant de s'insérer. La circulation peut influencer la visibilité dans certains cas (ex. lorsque des véhicules se trouvent voie de gauche). Au-delà de la détection d'un véhicule dans l'anneau, il est également nécessaire d'estimer sa distance et sa vitesse (et par conséquent le temps qui nous sépare de lui, appelé temps au contact ou TTC). Dans une large majorité, les conducteurs se sont insérés en l'absence de véhicules engagés dans l'anneau (68 cas), ce qui a priori, correspond à des insertions correctes. Mais nous verrons que ce n'est pas parce qu'il n'y avait aucun véhicule dans l'anneau au moment de l'insertion que des erreurs n'ont pu être commises. Nous comptabilisons 8 cas d'insertion dans le Rp en présence d'un véhicule déjà engagé arrivant de la gauche. Parmi ces cas, la monitrice en qualifie deux de refus de priorité, et évalue 3 créneaux comme très courts. Nous détaillerons deux sous-types de ces cas, que nous jugeons révélateurs de problèmes distincts.

Phase 3 - franchissement de l'anneau Nous comptons deux types de cas dans cette phase du franchissement de l'anneau. Les premiers concernent un mauvais positionnement dans les voies (ex. changement de voie sans signalisation et/ou contrôle visuel en présence d'un véhicule derrière soi). Les seconds concernent une vitesse souvent très basse une fois dans l'anneau.

Phase 4 - gestion de la sortie Concernant la sortie, là encore l'absence quasi-systématique de contrôle de l'angle mort a été rapporté par la monitrice. Ces vérifications sont d'autant plus importantes lorsque des piétons sont en attente de traversée en sortie ou que des obstacles sur la

voie nécessitent un changement de voie. Dans cette infrastructure, on compte 15 cas présentant un véhicule arrêté (déjà présent ou le véhicule qui nous précède) ou qui sortait d'un stationnement. Dans ces configurations, les participants ont du réaliser des dépports voire des changements de voie dans des temporalités souvent très courtes. Nous n'analyserons pas ces cas en détails dans cette section mais nous les évoquerons dans les maceuvres de changement de voies. La présence de piétons en attente de traversée s'est présentée 6 fois (**ensemble de cas 4 ci-après**).

6.4.5 Analyses de cas

Cas 1 : Stratégies visuelles sous-optimales (Rp_7Chemins)

Dans ce rond-point, nous avons observé des scénarios dans lesquels les participants ont effectivement consulté la zone d'exploration visuelle ex3, mais très brièvement, et trop longtemps avant de s'engager et sans vérifier de nouveau juste avant de s'engager (ex. Eld04), en suivant le flot de véhicule qui les précède.

Un autre cas (Eld28) implique un scooter qui suit notre conducteur voie de droite en approche du rond-point. Notre participant s'insère de façon normale sans aucun véhicule dans l'anneau. Néanmoins, le scooter qui arrive lancé s'est déporté sur la voie de gauche et notre conducteur adopte une trajectoire de type « D-milieu-D », sans avoir conscience qu'un 2RM se situe dans son voisinage arrière gauche. La figure 52-gauche correspond au moment où le scooter s'engage sur la voie de gauche alors que le conducteur vérifie la présence de véhicules sur sa droite (zone ex4, et le conducteur ne regardera pas à gauche durant la traversée). Bien que tout ce soit bien passé, ce participant a pris conscience de l'utilité d'une aide en termes de détection de ce deux roues (besoin_aide =100%) dans ce type de configuration (figure 52-droite) bien qu'il ne juge pas la situation critique ou dangereuse. Puisqu'il n'a aucunement eu conscience de la présence de ce véhicule, les jugements de type ressenti sont à 0.

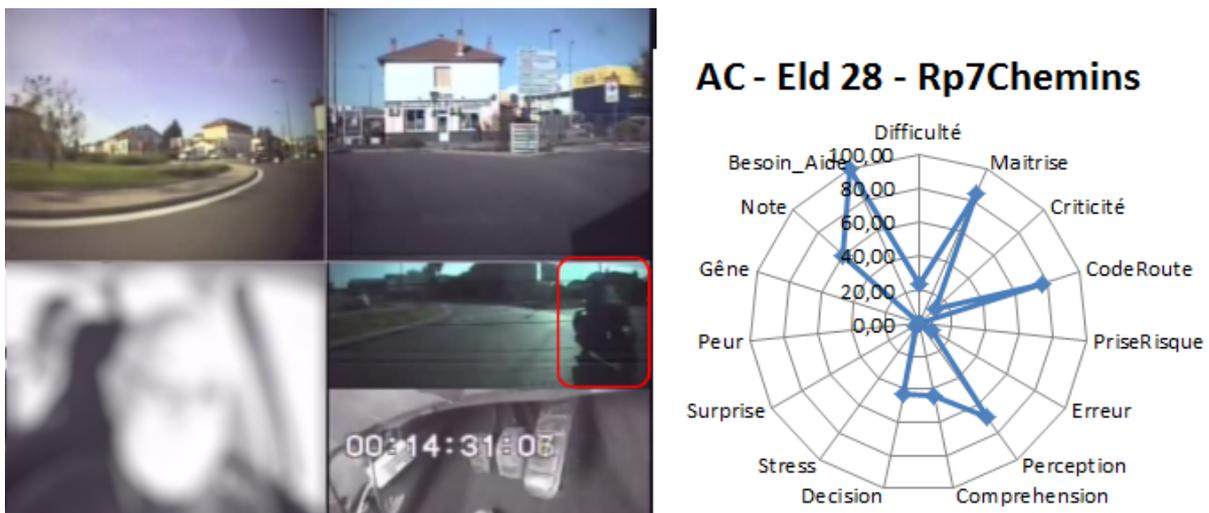


FIGURE 52 – Eld28_Rp_7Chemins, vues vidéo et jugements AC

Cas 2 : Insertions en présence de véhicule prioritaire dans l'anneau (Rp_7Chemins)

- Eld53 (difficulté BV) arrive seul sur le rond-point, il contrôle bien sur sa gauche et un véhicule se trouve assez loin dans l'anneau. En s'engageant, il a quelques difficultés avec le levier de vitesse qui entraîne un léger retard dans son déplacement. Le véhicule qui était assez loin au moment de sa prise de décision se retrouve à quelques mètres.
- Eld57 (acceptable) suit une camionnette en approche du rond-point. Lorsque cette dernière est dans l'anneau, la conductrice regarde rapidement sur la gauche où se trouve un véhicule qui est assez loin. La conductrice décide de s'engager. La monitrice n'a pas relevé que cette manœuvre présentait un réel danger.
- Eld03 (potentiellement critique) : Le participant se place sur la voie de gauche lorsque la monitrice lui donne l'indication « suivre périphérique » à une centaine de mètres du rond-point. Deux véhicules qui se trouvent sur la voie de droite arrivent à son niveau et se présentent à l'entrée du rond-point. Conscient qu'il doit aller tout droit, notre conducteur souhaite s'insérer sur la voie de droite. Il vérifie une première fois si des véhicules se trouvent dans l'anneau. Mais il est plus préoccupé par les deux véhicules à sa droite qu'il attend de voir démarrer pour passer derrière eux. L'attente dure quelques secondes pendant lesquelles le conducteur regarde à nouveau sur la gauche puis en direction des deux voitures de sa droite. Lorsque les deux véhicules entrent dans le rond-point, notre conducteur s'insère également et temporise pour pouvoir se placer derrière eux. Le conducteur n'a pas contrôlé sur sa gauche avant de s'insérer, et un véhicule engagé dans l'anneau est en approche.
- Eld72 (manque de vivacité dans l'empressement) suit une camionnette à l'entrée du rond-point. Celle-ci va s'insérer et notre conductrice va se présenter au niveau du cédez-le-passage au moment où une petite voiture sans permis se trouve dans l'anneau. La conductrice décide de s'arrêter pour temporiser mais dépasse le marquage au sol du céder-le-passage. Elle regarde sur sa gauche et aperçoit une voiture assez loin et décide de s'engager. Les actions visant à remettre en mouvement le véhicule dans la foulée lui demandent un peu de temps et lorsqu'elle s'insère totalement, le véhicule engagé s'est nettement rapproché.
- Eld11 (assez critique) suit un véhicule lorsqu'elle approche de l'entrée. Notre conductrice recherche la direction à suivre et bien qu'elle contrôle à deux reprises sur sa gauche, elle s'insère alors qu'un véhicule est en approche dans l'anneau.
- Eld12 (critique) est derrière plusieurs véhicules en approche du rond-point, sur sa voie (à droite) et sur la voie de gauche. Alors qu'il est en troisième position, il regarde brièvement sur sa gauche pour vérifier la présence de véhicules dans l'anneau. Il va suivre le mouvement des deux véhicules situés sur sa gauche. En regardant attentivement, on découvre que le premier s'est inséré alors qu'il avait amplement le temps, mais le second, lui, a marqué une hésitation (allumage des feux stop) avant de s'insérer très rapidement. En réalité, son hésitation était pleinement justifiée puisqu'un véhicule vert est dans l'anneau, tout proche de la jonction par laquelle notre conducteur s'insère. Ce dernier n'a à aucun moment contrôlé avec attention sur sa gauche avant de s'insérer. Pour ce conducteur, la situation est jugée très facile et tout est parfait, ou quasi-parfait, avec un léger bémol concernant le respect du code de la route (74%) mais une très bonne maîtrise (85%).

- Eld40 (critique) ne sait pas du tout où elle doit aller, elle est voie de gauche en approche, mais se retrouve au milieu des deux voies. Alors qu'elle semble perdue, cherchant les panneaux de directions devant elle et sur sa droite, la monitrice lui indique qu'il faudra aller tout droit. La conductrice regarde sur sa gauche, où se trouve un véhicule engagé dans l'anneau et s'insère malgré sa présence. Concernant ses auto-évaluations, on note la reconnaissance d'une maîtrise moyenne (60%) associée à une prise de décision et prise de risque du même ordre (61% et 58%) ayant entraînée un peu de stress (39%). Aucun besoin d'aide n'a été exprimé pour autant malgré le fait que la situation soit évaluée comme moyennement difficile (53%).
- Eld63 (refus de priorité) se présente voie de gauche en entrée du rond-point. Elle ne trouve pas le panneau de direction et le cherche dans toutes les directions. Ce faisant, elle regarde une première fois à gauche puis s'avance, jette un œil à gauche et s'insère. Sur la gauche se trouvait pourtant un véhicule engagé dans l'anneau, avec ses feux allumés. Le véhicule est très proche de nous lorsque la décision de s'engager est prise. Alors qu'elle est dans l'anneau, la conductrice cherche toujours la direction et la monitrice lui indique la sortie à prendre. En entretien post conduite, la participante admettra que sa décision présente une très légère prise de risque (16%), mais c'est tout. Elle n'a donc pas eu conscience de la criticité de cette situation, en grande partie gérée par le véhicule à qui elle a refusé la priorité. La figure 53 donne une illustration de la proximité du véhicule devant lequel s'est engagé cette participante.



FIGURE 53 – Cas de refus de priorité dans un rond-point

Cas 3 : Mauvais positionnement dans les voies (Rp_Chassieu)

La figure 54 illustre un cas de saisie du volant par la monitrice, dans le premier rond-point du parcours, alors que le conducteur se rabattait sur la gauche tout en cherchant sa direction, en présence d'une voiture à côté de lui (cercle rouge sur la figure).

C'est à ce niveau que les commentaires de la monitrice étaient les plus fréquents. Comme nous l'avons vu avec les prototypes de trajectoires, de nombreux conducteurs ont changé de voie dans l'anneau, parfois avec des véhicules qui les suivaient. Pour une grande partie de ces situations, les stratégies visuelles n'étaient pas adaptées à ces stratégies d'optimisation de trajectoire (ni même le signalement à l'aide du clignotant pour certains cas). Nous comptabilisons au moins 5 conducteurs pour lesquels nous avons observés ce type de problème dans Rp_7Chemins.

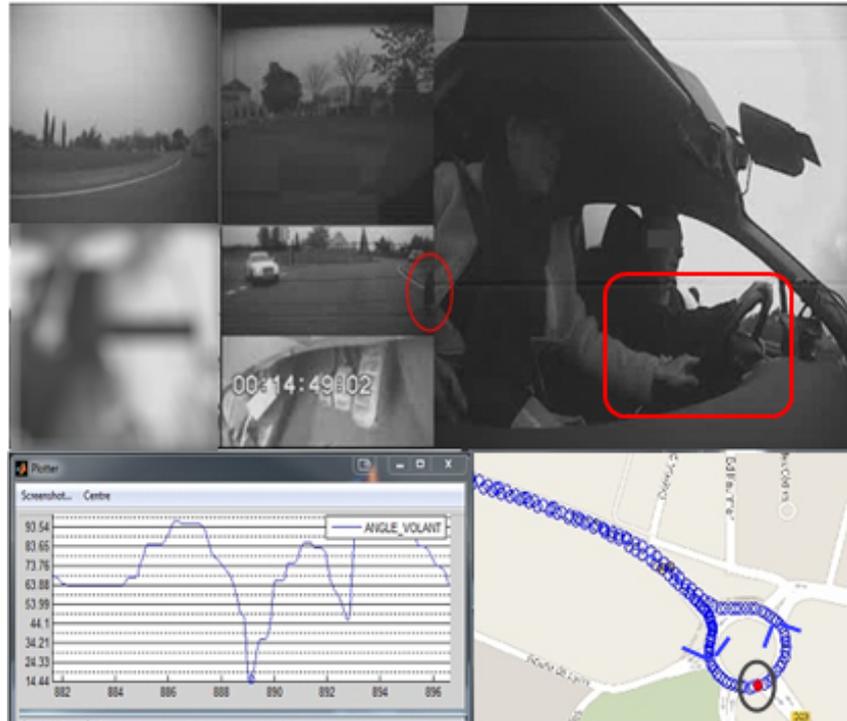


FIGURE 54 – Cas de saisie du volant pour cause de mauvais placement dans l’anneau (ChV pendant la recherche de direction, en présence d’un véhicule à gauche)

Cas 4 : Présence d’un piéton en sortie (Rp_7Chemins)

Parmi les situations « piétons en sortie », Eld62 n’a pas laissé la priorité à un piéton déjà engagé sur le passage piéton. La monitrice a relevé une vitesse excessive dans ce dernier cas.

6.4.6 Conclusion synthétique et perspectives

À partir des observations, il semble très clair que la détection de la direction à suivre dans les ronds-points est primordiale pour les conducteurs, au point qu’ils y consacrent beaucoup d’efforts, ce qui impacte leur performance générale (en termes de trajectoire, de vérifications visuelles). Dans certains cas, il semblerait que nous ayons identifié quelques mauvaises stratégies en lien avec la temporalité du signalement et la stratégie de positionnement. Parmi nos participants, certains ont d’ailleurs réagi en se voyant réaliser les manœuvres de franchissement de Rond-Point, nous disant qu’ils feraient plus attention à l’avenir.

Plus encore que pour les TàG, la détection des véhicules présents dans l’anneau pour déterminer les créneaux d’insertion est difficile à envisager à partir de notre instrumentation actuelle. On s’orienterait donc plus vers une aide à la détection des risques en lien avec les véhicules qui se trouvent derrière (ou dans l’angle mort). L’aide au contrôle latéral pour conserver le véhicule dans sa voie serait évidemment très pertinente mais la détection des marquages au sol semble plus complexe dans les portions trop courbées et lorsque les marquages sont effacés comme c’est souvent le cas dans les ronds-points.

Enfin, dans la perspective de communication entre le véhicule et l’infrastructure, l’information de présence de piéton en approche des zones de traversée pourrait permettre aux seniors (et à tous les autres conducteurs), de mieux les détecter lorsqu’ils sont au volant.

6.5 Les autres intersections

Le parcours expérimental comportait d'autres types d'intersections que nous regroupons dans cette troisième section.

6.5.1 Tâche de conduite en intersection Non prioritaire

La tâche de conduite en intersection telle que décrite précédemment reste valable. Néanmoins, les autres intersections du parcours dont il est question ici incluent d'autres règles de priorité (cédez-le-passage et priorité à droite) pour lesquelles les conducteurs ne sont donc pas prioritaires. Ils doivent identifier la règle, vérifier la présence d'autres usagers et adapter leur conduite en conséquence, parfois dans des temporalités assez courtes.

6.5.2 Question de recherche

Dans la littérature, les intersections sont les situations les plus à risque pour les conducteurs âgés. Nous avons notamment identifié le non-respect de la priorité à droite comme étant fréquemment sujet à erreur. Nous allons donc reprendre ce que nous avons rappelé pour les TàG et les Ronds-Points, vérifier si l'identification des règles de priorité et plus globalement si la lecture et la compréhension des infrastructures posent effectivement problème à certains de nos conducteurs.

6.5.3 Matériau disponible

6.5.3.1 Autres intersections du parcours

Le tableau 18 donne la description des Intersections Non Prioritaires rencontrées sur le parcours. Elles incluent une rue à sens unique avec obligation de tourner à gauche, des changements de direction sur la gauche ou sur la droite dans des Intersections régulées par un cédez-le-passage, ou sur la gauche dans des carrefours à feux. Une priorité à droite dans un carrefour en croix qui est traversé sans changement de direction est également incluse.

TABLEAU 18 – Intersections Non prioritaires du parcours

Nom Intersections	Direction	Forme	Signalisation	Nb	Mon / AC
feux_zacChene1	À gauche	X	feux tricolores	76	-
clp_ledoux1	À gauche	T	cédez-le-passage	76	-
clp_ledoux2	À droite	T	cédez-le-passage	76	-
Carré 3	À gauche	T	priorité à droite	71	-
Carré sortie	À gauche	T	cédez-le-passage	71	X
prioD	Tout-droit	X	priorité à droite	76	X
clp_bonnevay	À droite	T	cédez-le-passage	75	X
feux_zacChene2	À gauche	X	feux tricolores	75	-

6.5.3.2 Vue d'ensemble des observations en autres intersections

La figure 55 donne une vision synthétique des observations de la monitrice et des jugements des participants pour les Changements de voie systématiquement évalués par notre experte

et nos conducteurs. On retrouve donc de haut en bas les Intersections Carré sortie, prioD et clp_bonnevay.

Ce tableau indique, dans la colonne la plus à droite, le nombre d'auto-confrontations effectivement réalisées pour l'infrastructure considérée. Comme nous l'avons indiqué, nous avons régulièrement privilégié d'autres situations durant l'auto-confrontation dès lors que les participants nous indiquaient qu'il n'y avait rien à signaler pour cette situation.

On voit à travers cette vue d'ensemble qu'il y a une certaine homogénéité dans les évaluations moyennes réalisées par la monitrice. En revanche, des notes très basses sont attribuées pour la priorité à droite ainsi que pour le cédez-le-passage qui amène sur la voie d'insertion. Dans ces situations, certains participants n'ont pas eu un comportement adéquat eu égard de l'infrastructure et des règles de priorité. Pour les auto-évaluations moyennes des conducteurs, elles reflètent une difficulté plus importante pour ces deux situations comparativement à la première intersection de type « autre » rencontrée sur le parcours.

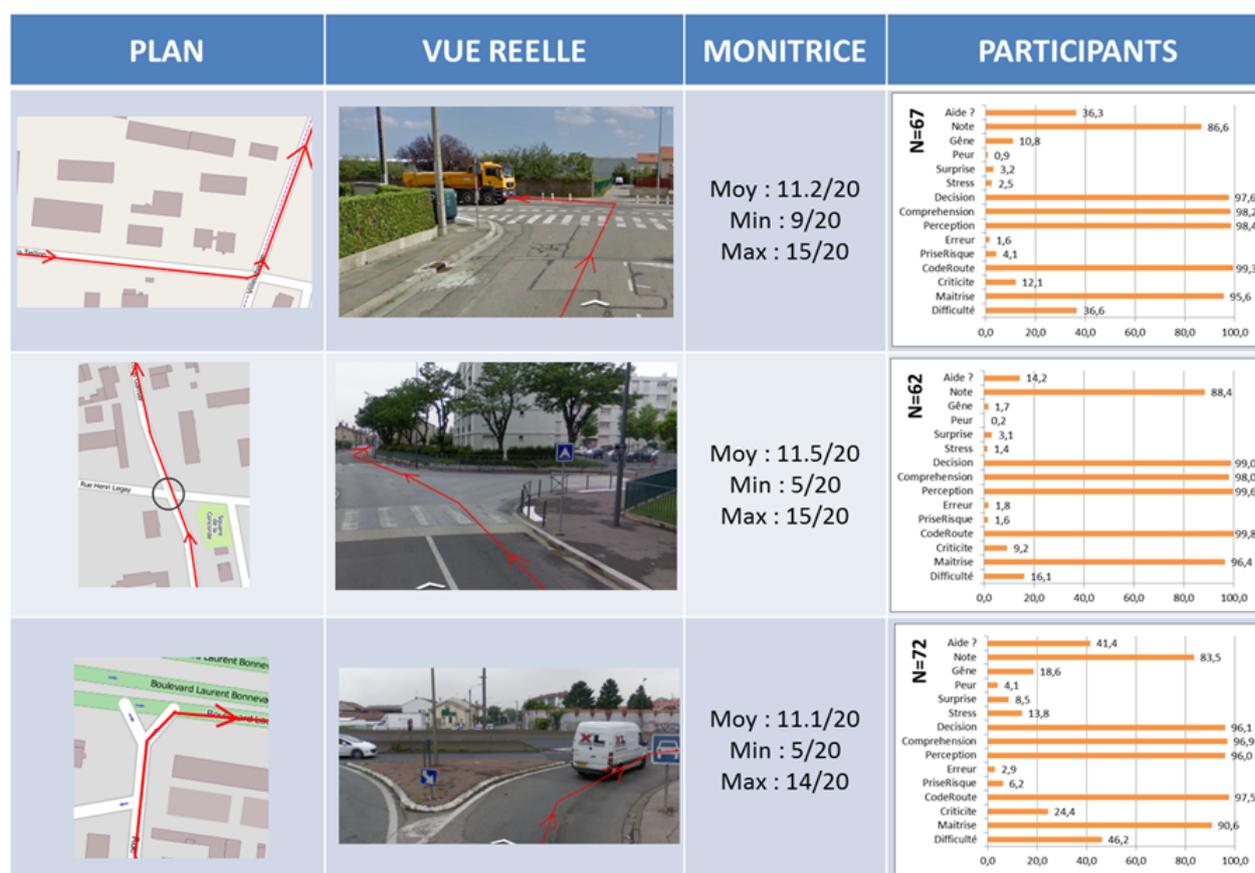


FIGURE 55 – Vue d'ensemble des observations en autres intersections

6.5.4 Analyse des difficultés et des erreurs

6.5.4.1 Évaluation de la monitrice

Les remarques et commentaires émis par la monitrice pour ces situations sont présentés dans le tableau 19.

TABLEAU 19 – Remarques monitrice pour les autres intersections

Type remarque	Fréquence
Mauvaise compréhension de l'infrastructure	++
Positionnement / trajectoire inadaptée	++
Doute sur les règles de priorité	+
Vitesse d'approche trop élevée	+
Créneau d'insertion risqué	+

6.5.4.2 Classification des situations-problèmes

Nous avons identifié **36 situations-problèmes pour l'ensemble des autres intersections** du parcours, dont une classification est présentée dans le tableau 20.

TABLEAU 20 – Classification des situations-problèmes en autres Intersections

Type de difficulté / erreur en Intersections non prioritaires	Nb
Précipitation / négligence dans les vérifications	14
Risque de contresens	7
Compréhension situation	5
Absence de contrôle priorité droite	4
Créneau d'insertion risqué	4
Piéton sortie	2
Total	36

Parmi toutes ces situations, on trouve d'abord les problèmes en lien avec une identification tardive des règles de priorité de l'infrastructure qui a induit des vitesses d'approche inadaptées dans des intersections pour lesquelles les conducteurs ne sont pas prioritaires. Réagissant parfois tardivement, les vérifications qui accompagnaient ces manœuvres ont été partielles ou trop brèves pour les situations concernées (notamment pour les zones dans lesquelles la vitesse du flux à traverser ou dans lequel s'insérer est élevée). En fonction de la situation, la monitrice est intervenue verbalement, voire directement sur les commandes.

Des hésitations dans des infrastructures signalant une obligation de tourner à droite ou à gauche (panneau bleu et flèche blanche) se sont présentées dans 5 cas. Deux autres cas concernent des changements de direction au niveau d'un carrefour à feux complexe dans lequel un conducteur (respectivement une conductrice) a hésité à s'engager sur la droite (respectivement sur la gauche) alors que des panneaux sens interdit étaient présents.

Nous avons isolé les cas de mauvaise compréhension de la situation pour 4 cas. Dans le premier, c'est le comportement d'un autre usager dans une intersection qui a posé problème à une conductrice que la monitrice a aidé en lui confirmant que le véhicule prioritaire était arrêté et qu'elle pouvait s'engager. Parmi les 3 autres cas, on compte un démarrage au feu rouge (**cas 2 ci-après**) pour un conducteur qui a confondu le feu situé tout à gauche (valable pour la voie située à sa gauche qui sert à tourner à gauche) avec le feu qui régule sa voie. Deux autres cas se situent dans un carrefour à feux dans lequel un participant s'est arrêté au feu vert (**cas 3 ci-après**) et un autre s'est engagé au-delà du feu qui était rouge pensant qu'il s'agissait d'un cédez-le-passage (**cas 4 ci-après**). Ces trois exemples sont intéressants en ce sens qu'ils correspondent à des instanciations erronées de schémas tactiques en intersection.

La priorité à droite a été totalement ignorée par 4 participants qui n'ont pas contrôlé la présence de véhicules en approche. Bien que ces situations puissent être classées dans la première catégorie, nous les isolons du fait de l'importance du refus de priorité à droite rapporté par la littérature.

La sélection du créneau d'insertion présentant un risque avéré s'est présentée dans 4 cas. Ces situations se sont parfois déroulées suite à une identification tardive des règles de l'infrastructure, mais elles comportent un risque situationnel objectif concernant la prise de décision des participants de s'engager dans la traversée. Ces problèmes relèvent parfois d'une mauvaise estimation de la distance des véhicules en approche, parfois de négligence dans les vérifications. Nous avons observé un cas d'une conductrice qui, dans le cédez-le passage menant à la voie d'insertion, a vérifié très rapidement sur sa gauche avant de poursuivre sur sa lancée, s'insérant juste devant une camionnette qui arrivait lancée à ce croisement (**cas 1 ci-après**).

Enfin, on compte deux situations pour lesquelles la présence d'un piéton en sortie qui était quasiment engagé a été ignorée par nos participants. Un cas s'est déroulé dans une intersection en T (où les conducteurs doivent par définition vérifier des deux côtés avant de s'engager) avec notre conductrice qui était très occupée à identifier un créneau d'insertion, oubliant de vérifier en face d'elle avant de démarrer, où un piéton était en train de s'engager pour traverser la route.

6.5.5 Analyses de cas

Cas 1 : Espace d'insertion très court

La conductrice approche du marquage délimitant la position à laquelle elle doit céder le passage, à une vitesse non négligeable tout en regardant sur la gauche, si bien que la camionnette se prépare à freiner. La conductrice comprend, 2 secondes plus tard et alors qu'elle s'est engagée, que la camionnette, qui a dû freiner, était proche. La conductrice ne déclare pas avoir ressenti de peur mais son visage, une quinzaine de secondes plus tard, une fois insérée sur le périphérique, montre qu'elle a été très surprise. Elle reconnaît avoir commis une erreur.

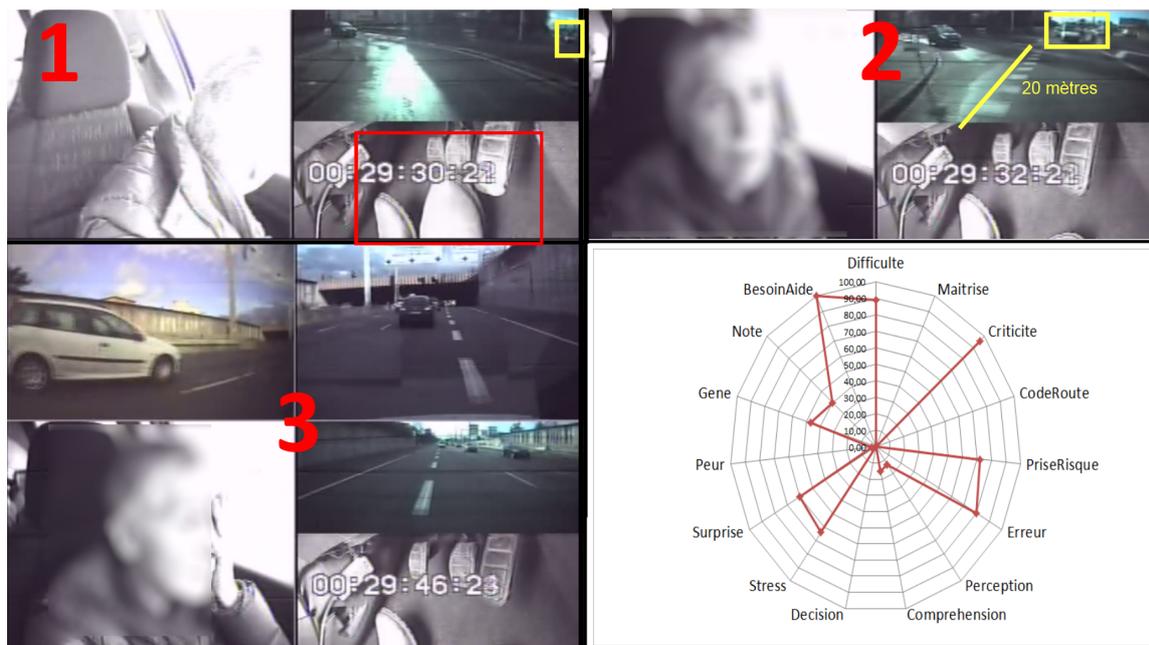


FIGURE 56 – Cas d'espace d'insertion trop court, en cédez-le-passage

Cas 2 : Démarrage au feu rouge

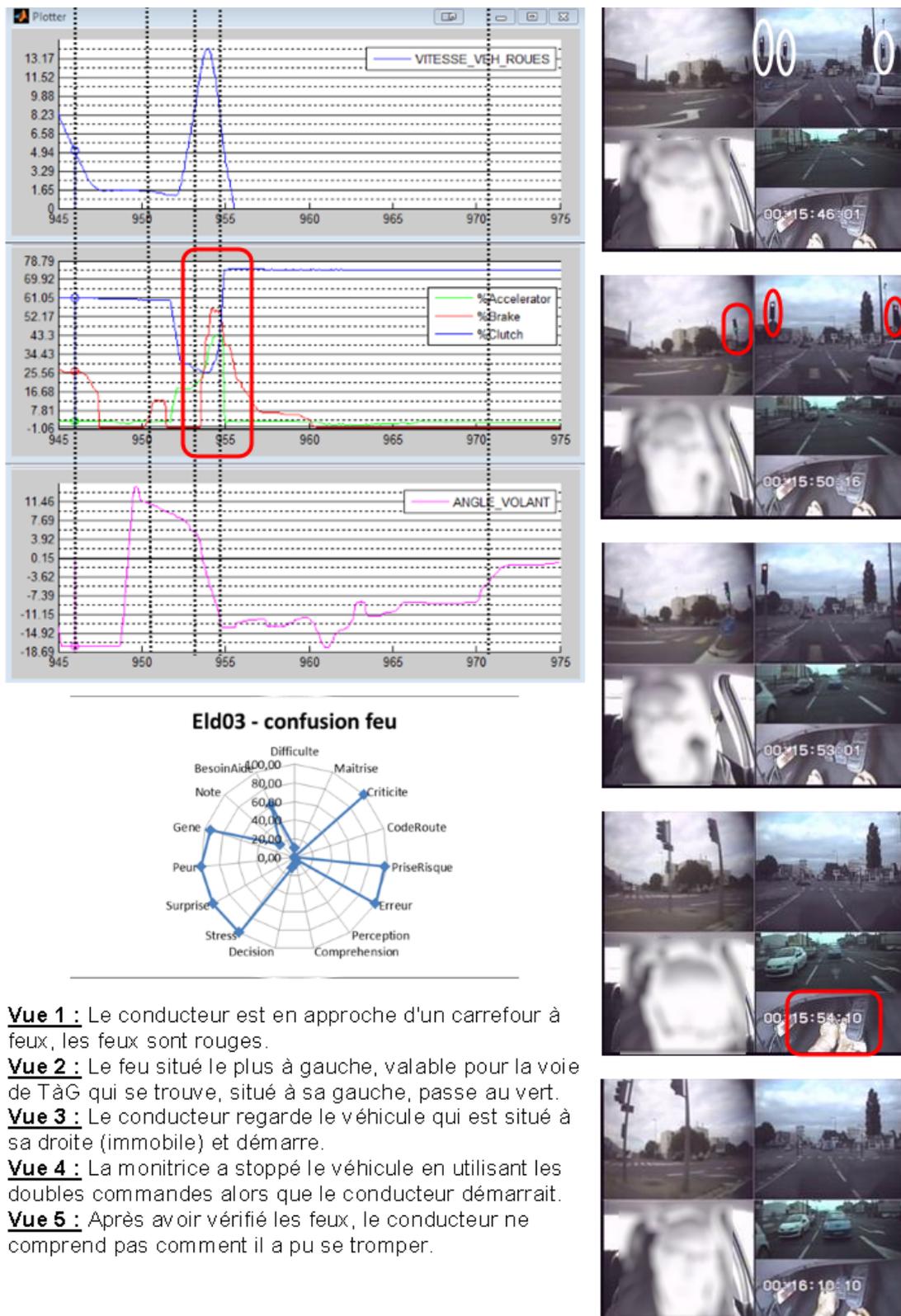
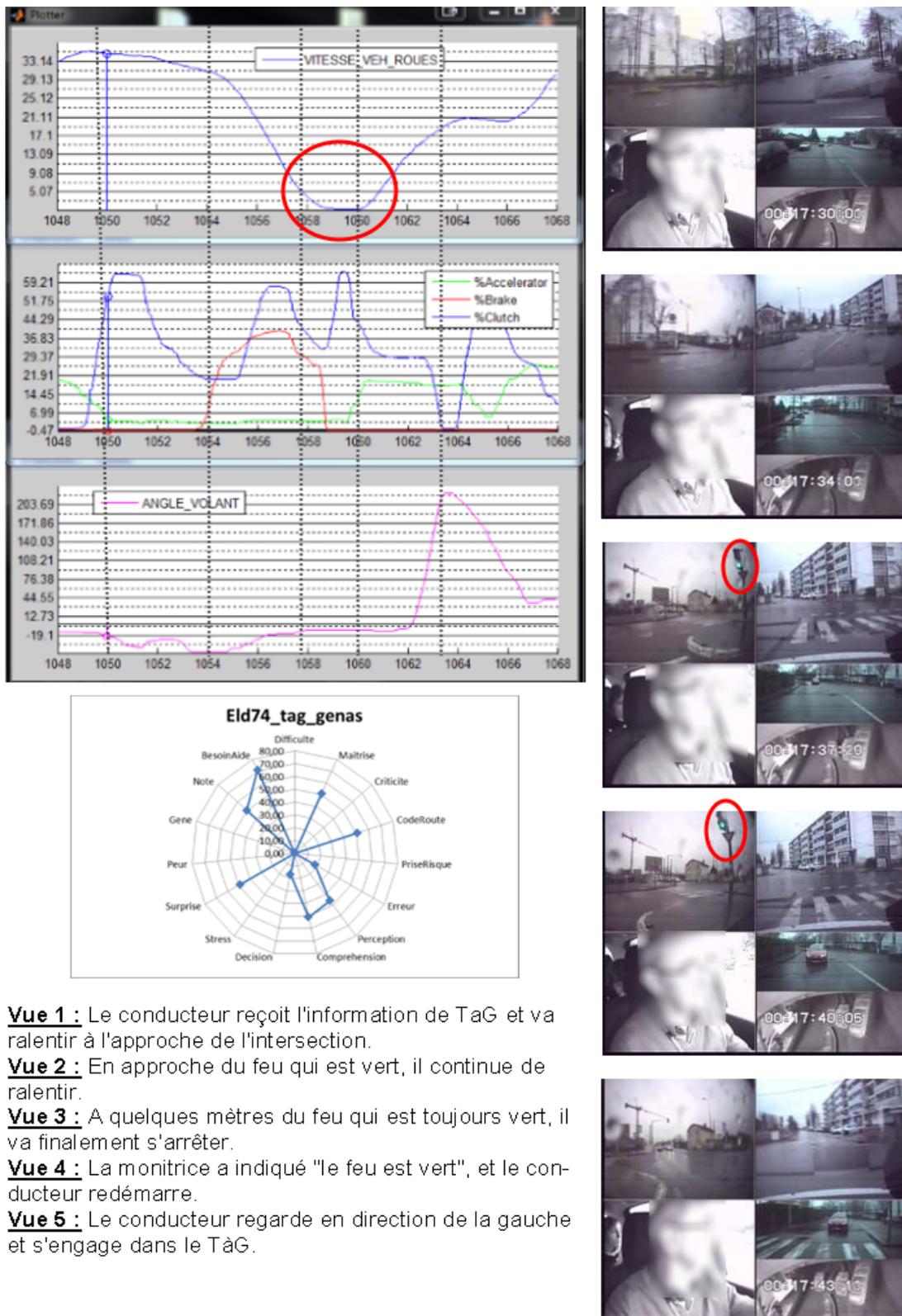


FIGURE 57 – Cas de démarrage au feu rouge du fait d'une représentation mentale erronée

Cas 3 : Arrêt au feu vert



- Vue 1 :** Le conducteur reçoit l'information de TaG et va ralentir à l'approche de l'intersection.
- Vue 2 :** En approche du feu qui est vert, il continue de ralentir.
- Vue 3 :** A quelques mètres du feu qui est toujours vert, il va finalement s'arrêter.
- Vue 4 :** La monitrice a indiqué "le feu est vert", et le conducteur redémarre.
- Vue 5 :** Le conducteur regarde en direction de la gauche et s'engage dans le TàG.

FIGURE 58 – Cas d'arrêt au feu vert du fait d'une représentation mentale erronée

Cas 4 : Confusion feu rouge et cédez-le-passage

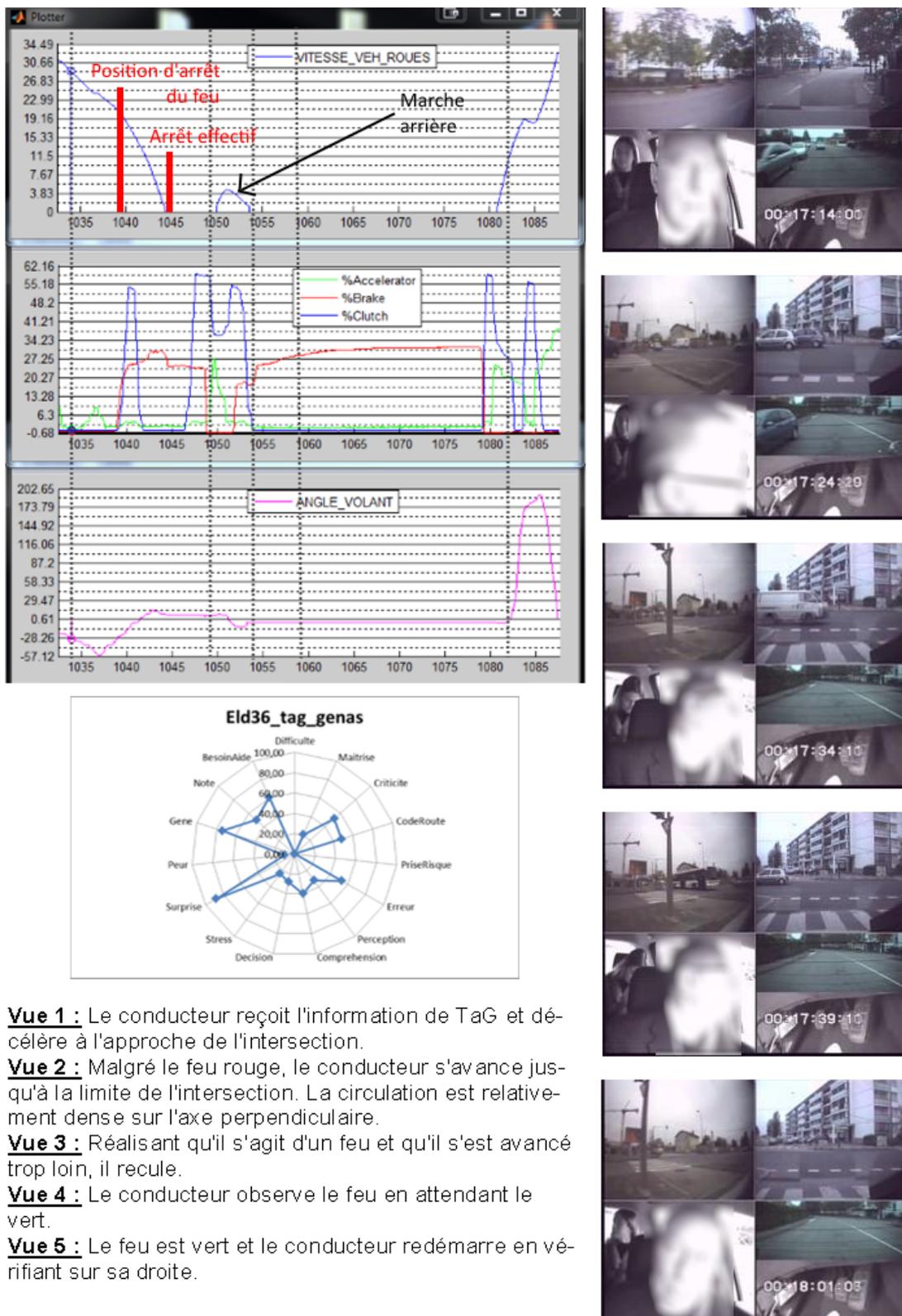


FIGURE 59 – Cas de confusion feu rouge et cédez-le-passage (représentation mentale erronée)

6.5.6 Conclusion synthétique et perspectives

La compréhension de l'infrastructure et l'identification des règles de priorité sont, comme nous venons de le voir, deux points qui semblent poser problème aux conducteurs âgés. Nous avons donné plusieurs illustrations de cela, en lien avec les représentations mentales des conducteurs, parfois erronées ou incomplètes ayant entraîné des réponses comportementales inadaptées à la complexité et au risque inhérent à certaines infrastructures, ainsi qu'aux conditions de circulation. Cela a débouché, à plusieurs reprises sur une aide apportée par la monitrice, notamment lorsque la situation présentait une criticité objective. Autre conséquence de cela, le positionnement et les trajectoires adoptées semblent à nouveau problématiques pour certains.

Le principe d'*horizon électronique* qui présenterait les informations en avance au conducteur quant au type d'infrastructure à venir et ses éventuelles spécificités pourrait permettre de mieux interpréter les infrastructures traversées.

Parmi les analyses à venir, nous projetons de nous intéresser aux vitesses pratiquées en approche d'intersection, et au cours de la manœuvre. Les stratégies visuelles seraient également très intéressantes à analyser au niveau de la priorité à droite où certains conducteurs n'ont pas eu conscience du caractère non prioritaire de l'infrastructure.

6.6 Contrôle et régulation de sa vitesse

Parmi les tâches ayant trait à l'utilisation d'un véhicule pour se déplacer, le contrôle et la régulation de la vitesse est une dimension élémentaire.

6.6.1 Tâche de contrôle et de régulation de sa vitesse

Pour contrôler sa vitesse, le conducteur a besoin de deux informations : la vitesse maximale autorisée sur le tronçon courant et sa propre vitesse. En fonction de ces deux paramètres et de ses propres motivations, il adopte une vitesse qui lui convient. En conduite, la vitesse maximale autorisée fluctue régulièrement contraignant le conducteur à réguler sa vitesse.

6.6.2 Question de recherche

D'après la revue de la littérature, les conducteurs âgés sembleraient faire en sorte de respecter les limitations de vitesse, et avoir tendance à adopter des vitesses de croisière plus lente, pour compenser une vitesse de traitement plus basse. Nous ne devrions par conséquent pas observer d'excès de vitesse en quantité importante. À l'inverse, certains auteurs ont rapporté une tendance à adopter une vitesse de déplacement parfois trop lente, pouvant entraîner des perturbations dans la fluidité du trafic. Nous investiguerons également cet axe de la sous-vitesse par nos analyses.

6.6.3 Méthode d'investigation

Nous avons couplé les informations en provenance de la caméra réalisant la détection des panneaux de signalisations de vitesse et une base de données cartographique. La figure 60 présente les différentes limitations de vitesse que comprend le parcours expérimental ainsi que leur répartition. Nous visualisons distinctement les différentes zones 30 du parcours (en bleu), ainsi que la majorité de zone limitée à 50 km/h (en cyan) pour la partie urbaine et 90 km/h (en rouge) pour le périphérique. Les zones limitées à 70 km/h (en jaune) se regroupent en grande partie dans la zone qualifiée de péri-urbaine composée de portions de lignes droites au milieu desquelles on trouve des intersections à feux. Les autres zones limitées à 70 km/h sont réparties à la sortie du périphérique aller dans une bretelle de décélération en ligne droite (au nord ouest de la carte), à la sortie d'une bretelle de raccordement entre le périphérique et l'autoroute A42 (au sud ouest de la carte) et enfin au niveau de la sortie de la A43 (au sud sur la carte). Sur notre parcours, on dénombre ainsi 8 portions limitées à 30 km/h, incluant des ralentisseurs (5 zones) ou d'autres aménagements visant à contenir la vitesse des véhicules (2 zones devant des collèges, 1 autre au niveau d'une priorité à droite), 14 portions limitées à 50 km/h, 6 portions limitées à 70 km/h, et 5 portions limitées à 90 km/h.

Afin d'obtenir un premier aperçu de l'activité de contrôle et régulation de la vitesse de nos participants, nous pouvons superposer la vitesse maximale autorisée à la vitesse effective du véhicule. La figure 61 présente un cas de ce que l'on peut visualiser pour un participant. À partir de ce tracé, il est aisé de détecter les zones dans lesquelles la vitesse du véhicule diffère sensiblement de la limite maximale autorisée. Pour information, la vitesse du véhicule que nous utilisons provient du calculateur central du véhicule, elle correspond donc à la vitesse effective du véhicule. La vitesse affichée au tableau de bord est légèrement supérieure à cette valeur (environ 3%) pour ne jamais mettre en défaut un conducteur lorsqu'il surveille sa vitesse à l'aide de son

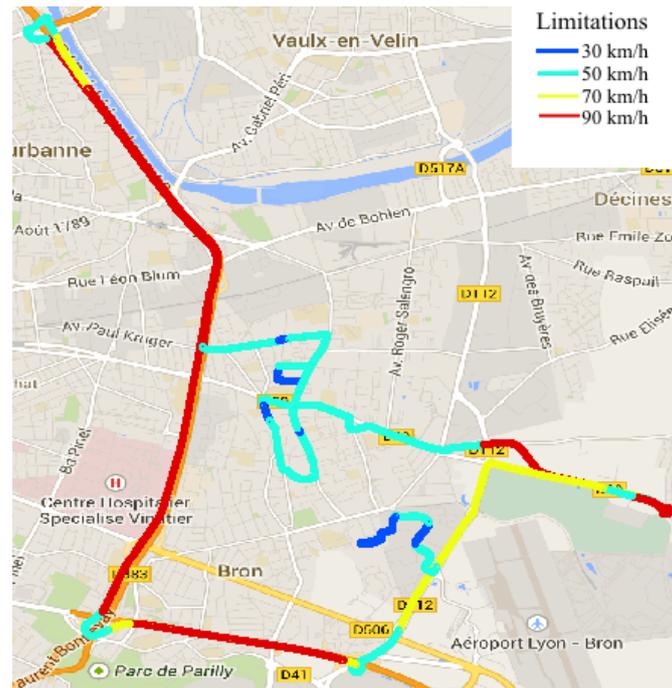


FIGURE 60 – Limitations de vitesse sur le parcours expérimental

compteur. Les analyses qui suivent portent sur 72 participants ($N=72$), les 4 participants ayant effectués un détour ne sont pas pris en compte.

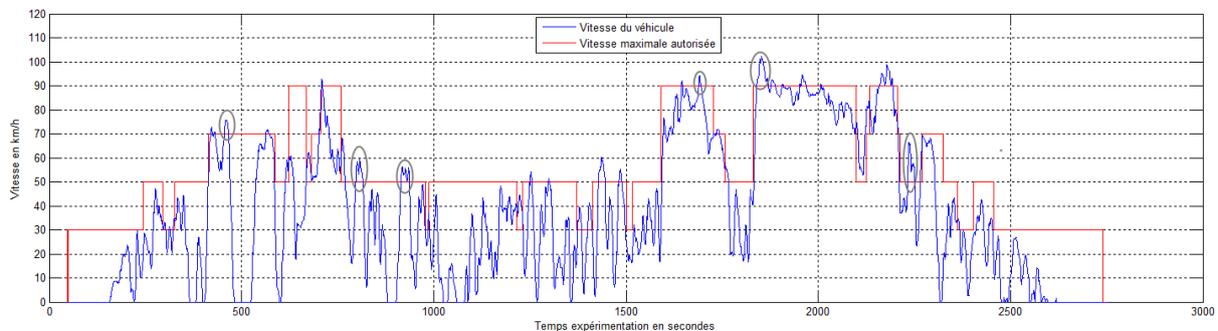


FIGURE 61 – Cas de visualisation de la vitesse légale et de la vitesse d'un conducteur

À partir de ce principe, on peut calculer, pour chaque participant, la performance dans chacune des 32 zones détaillées plus haut, et par limitation (en regroupant les zones correspondant à une certaine vitesse maximale autorisée). La vitesse pratiquée est très impactée par les phases de décélération et d'accélération à proximité des intersections, nous avons donc pris soin de ne considérer que les instants pour lesquels le véhicule roule à 20 km/h ou plus. Pour ces fenêtres, nous calculons la différence entre la vitesse du véhicule et la vitesse maximale autorisée. On isole ensuite les plages pour lesquelles ce différentiel est positif (excès de vitesse). Le rapport du temps passé en excès de vitesse sur le temps passé dans la zone (ou dans l'ensemble des zones à limitation identique) donne ainsi un pourcentage de temps passé en excès de vitesse pour la zone ou la limitation considérée.

6.6.4 Résultats

Si l'on considère uniquement les participants qui ont réalisé le parcours exact (N=67), la durée moyenne nécessaire à la réalisation du parcours (hors manœuvre de stationnement) est de 41 minutes 37 secondes (SD=2 minutes 20 secondes). Le participant le plus rapide a réalisé le parcours en 36 minutes et 30 secondes environ (Eld09), et le plus lent en quasiment 49 minutes (Eld07). Bien sûr, les conditions de circulation comptent pour beaucoup dans cette variabilité mais cette donnée révèle également une grande variabilité dans la vitesse de croisière pratiquée par les participants sur un trajet identique. Or pour analyser la vitesse pratiquée par nos conducteurs sur le parcours expérimental, nous avons besoin de connaître les limitations de vitesse dans les différentes zones du parcours.

6.6.4.1 Avis de la monitrice

La monitrice devait, au besoin, avertir les participants à proximité des radars fixes situés sur le périphérique. 3 participants (Eld09, Eld21 et Eld71) ont ainsi fait l'objet d'une intervention verbale de type « *attention radar* ». Pour ces trois participants et pour trois autres (Eld11, Eld17, Eld58), la monitrice a mentionné dans son commentaire global, une tendance à rouler en excès de vitesse, que ce soit en agglomération, ou sur les voies rapides. Dans la mesure où cela ne concerne que 6 participants, nous retrouvons l'hypothèse selon laquelle les conducteurs âgés respectent dans l'ensemble les limitations de vitesse. Pour d'autres participants qui n'avaient pas tendance à rouler en excès de vitesse, la monitrice a pu, localement, donner un avertissement verbal du type « *nous allons freiner* » dans des configurations pour lesquelles la vitesse d'approche était inadaptée. Ceci s'est produit en sortie de voies rapides, dans une zone légèrement vallonnée dans laquelle le carrefour à feux qui suit est invisible pendant plusieurs dizaines de mètres (2 cas), et à l'approche d'un cédez-le-passage qui mène sur une bretelle d'insertion sur le périphérique.

Concernant la sous-vitesse, on compte une quinzaine de participants pour lesquels cette dernière juge que le rythme global de la conduite est parfois trop lent. Une vitesse de croisière aux alentours de 70 km/h sur le périphérique a été rapportée pour cette quinzaine de participants, parmi lesquels une dizaine n'a même pas passé la 5^{ème} vitesse (rappelons que la consigne de départ stipulait que le véhicule dispose d'une boîte à 5 rapports). Dans certains cas, une intervention verbale du type « *accélérez, nous sommes limités à x km/h ici* » a été donnée à quelques participants qui circulaient à une vitesse inadaptée en fonction de la circulation (ex. sortie d'agglomération ou insertion). Certains conducteurs ont également demandé à de nombreuses reprises quelle était la limitation de vitesse courante à la monitrice (Eld20 et Eld65).

Nous comptons également plusieurs manifestations d'autrui en lien avec une vitesse jugée trop faible, dont un cas est analysé plus loin dans cette section (**Cas 1 ci-après**).

6.6.4.2 Analyse de la sur-vitesse par limitation de vitesse

On peut d'abord s'intéresser à l'ensemble de nos participants en fonction de la limitation de vitesse. Le tableau 21 présente les valeurs moyennes des indicateurs pour chaque limitation de vitesse. Afin de ne pas influencer la sous vitesse de l'ensemble des zones 90, nous avons retiré deux zones qui correspondent à l'entrée et la sortie d'un rond-point dans lequel la vitesse est faible du fait de l'infrastructure.

Ces premiers résultats indiquent que le respect de la vitesse maximale autorisée est globalement bon puisqu'on observe des pourcentages moyens de temps passés en sur-vitesse qui sont contenus. Les zones limitées à 30 km/h sont celles dans lesquelles le dépassement est le plus fréquent (près de 10% du temps). On y trouve une vitesse maximale moyenne qui dépasse les 40 km/h correspondant probablement à un dépassement en début ou en fin de zone. En effet, en moyenne, le dépassement est de l'ordre de 3,69 km/h sur l'ensemble des situations de sur-vitesse, ce qui correspond à environ 10% de dépassement.

TABLEAU 21 – Valeurs moyennes des indicateurs de sur-vitesse par limitations de vitesse

	Max. sur-vitesse	Moy. sur-vitesse	% temps en sur-vitesse
Limitations 30	10,36 km/h	3,69 km/h	9,49%
Limitations 50	15,34 km/h	4,81 km/h	5,38%
Limitations 70	7,71 km/h	3,28 km/h	6,64%
Limitations 90	4,23 km/h	1,87 km/h	2,36%

Pour le périphérique et les sections hors agglomération limitées à 90 km/h, le temps passé en excès de vitesse est très faible (2,36% du temps total passé dans ces zones). De plus, la moyenne du dépassement maximum est de 4 km/h, qui correspond à moins de 5% de dépassement de la vitesse maximale autorisée. La valeur moyenne durant la sur-vitesse semble confirmer cela avec moins de 2 km/h.

On peut s'étonner d'observer un pourcentage de temps passé en excès de vitesse plus élevé pour les zones 70 (6,6% du temps avec un dépassement moyen de l'ordre de 5%), que pour les zones 50 (5,4% du temps, mais un dépassement moyen qui est de l'ordre de 10%). Ce résultat peut s'expliquer par le fait que plusieurs zones 70 correspondent à des sections de décélération en sortie de périphérique, dans lesquelles la régulation ne serait pas optimale et pour lesquelles on observe des excès de vitesse modérés certes, mais parfois longs.

6.6.4.3 Analyse de la sous-vitesse par limitation de vitesse

D'un autre côté, on constate (tableau 22) que la différence moyenne pour tous nos conducteurs entre la vitesse effective et la vitesse maximale autorisée augmente nettement avec la vitesse maximale autorisée.

TABLEAU 22 – Valeurs moyennes de différentiel (Vit. légale - Vit. participant), par limitations

	Différentiel moyen	Variabilité moyenne
Moyennes Limitation 30	-0,55 km/h	2,9 km/h
Moyennes Limitation 50	-9,06 km/h	10,01km/h
Moyennes Limitation 70	-11,05 km/h	12,63km/h
Moyennes Limitation 90	-15,46 km/h	15,39km/h

Pour l'ensemble des zones 30 par exemple, leur vitesse est, en moyenne, de 29,45 km/h. La vitesse moyenne est de 41 km/h en zone 50, de 59 km/h en zone 70 et enfin de 74,54 km/h sur les tronçons limités à 90 km/h. Ceci semble indiquer une vitesse de croisière substantiellement plus basse que celle autorisée (et par conséquent que celle du flux de circulation). Si l'on observe

la variabilité, on voit qu'elle augmente nettement avec la limitation de vitesse, ce qui pourrait indiquer que la vitesse pratiquée est d'autant plus différente que la vitesse autorisée est grande parmi nos conducteurs. On peut alors imaginer identifier des conducteurs globalement lents et d'autres globalement plus rapides. Cette différence devrait être d'autant plus marquée que la vitesse maximale autorisée est importante (cf. résultat précédent), c'est pourquoi nous choisissons d'analyser la vitesse sur voies rapides.

6.6.4.4 Analyse de la sous-vitesse sur voies rapides

La question de la sous-vitesse nous semble difficile à appréhender en milieu urbain, notamment du fait de toutes les phases d'accélération et de décélérations dues aux intersections et aux changements de direction. Par conséquent, nous allons nous intéresser à la vitesse pratiquée par nos conducteurs sur les deux portions de périphérique. La figure 62 présente un exemple de la vitesse pratiquée par un participant et la vitesse maximale autorisée pour ces deux tronçons.

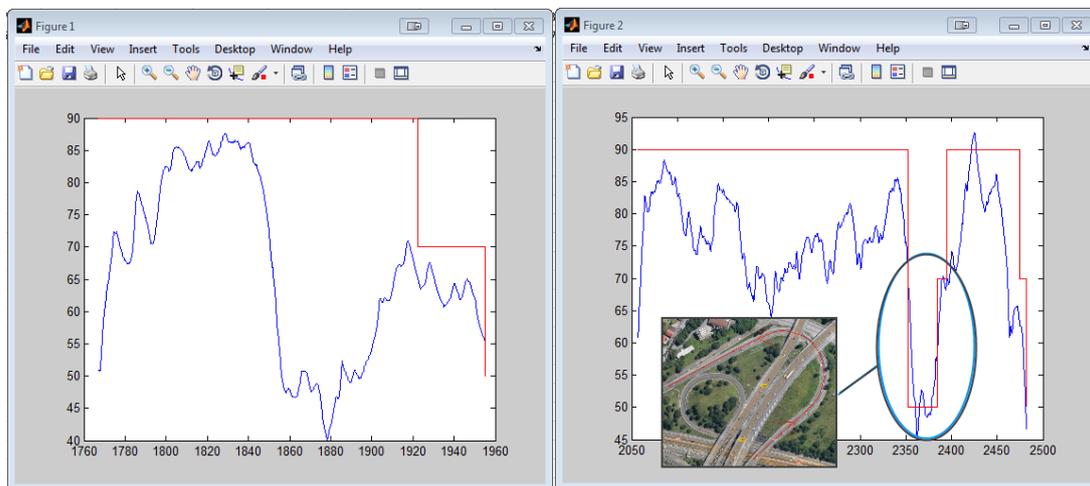


FIGURE 62 – Exemple de visualisation de la vitesse légale et de la vitesse d'un conducteur sur les deux portions de périphérique (portion aller à gauche, retour à droite)

Le premier tronçon (à gauche sur la figure 62) comporte une portion à 90 km/h suivie d'une bretelle de décélération dans laquelle la vitesse maximale autorisée passe de 90 à 70 km/h. Le début de cette portion à 90 comporte l'insertion, nous choisissons donc d'exclure les 500 premiers mètres du tronçon, pour ne conserver que la portion limitée à 90 km/h.

Le second tronçon (à droite sur la figure 62), comprend deux zones à 90 (qui excluent déjà l'insertion qui se fait dans une portion à 50 km/h à cet endroit) ainsi qu'une bretelle circulaire de jonction entre le périphérique et l'autoroute A43 (comme indiqué figure 62), que nous excluons. On voit également une portion limitée à 70 à l'extrémité du tronçon, correspondant à la sortie de l'autoroute qui est exclue elle aussi.

Nous ne conservons que les deux sections limitées à 90 km/h du second tronçon, avec la zone 90 du premier tronçon. Nous décomposons alors le temps passé dans chaque gamme de vitesse telles que présentées dans le tableau 23, qui présente également les résultats moyens pour l'ensemble des participants.

TABLEAU 23 – Résultats moyens pour les intervalles de vitesses pratiquées sur voies rapides

Nom	% V légale	Intervalle	% temps moyen
Sur-vitesse	>100%	> 90 km/h	3.9%
Vitesse correcte	[100-90]%	[90-81] km/h	17.6%
Vitesse basse	[90-80]%	[81-72] km/h	44.6%
Sous-vitesse	<80%	<72 km/h	27.9%

Les valeurs moyennes de pourcentage de temps passé dans chaque gamme de vitesse pour l'ensemble de nos participants sont de 27.9% en *sous-vitesse*, de 44.6% en *vitesse basse*. La *vitesse correcte* compte pour 17.6% du temps. La *sur-vitesse* représente quant à elle 3.9% du temps cumulé passé par nos participants sur le périphérique. Pour aller plus loin, les résultats individuels sont présentés figure 131 où les participants sont classés par pourcentage décroissant de temps passé en vitesse basse.

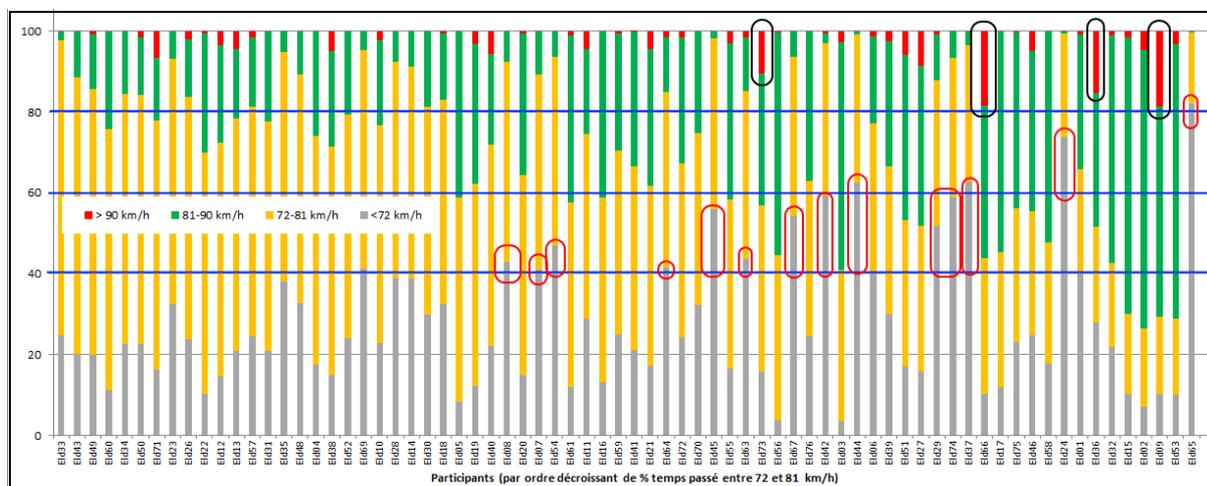


FIGURE 63 – Répartition du temps passé par gamme de vitesse, sur les portions à 90 km/h du périphérique, par participant

On identifie sur cette figure les excès de vitesse en rouge qui concernent au total 39 participants, dont au moins 2 qui passent 5 à 10% du temps en sur-vitesse et 4 participants qui le sont durant plus de 10% du temps (entourés en noir sur la figure). Par conséquent, il y a 35 participants qui n'ont jamais dépassé les 90 km/h. Parmi ces conducteurs, ce qui apparait très nettement, ce sont les 17 qui passent au moins 40% du temps en sous-vitesse, dont 15 y étant entre 40 à 60% du temps mais aussi et surtout 4 autres, passant plus de 70% du temps à moins de 72 km/h. Si l'effet trafic peut influencer ces résultats, les deux participants que nous identifions comme majoritairement lents le sont sans aucun doute.

Pour aller plus loin, nous proposons d'analyser la dimension de la régulation de la vitesse, en nous focalisant sur la bretelle de jonction que nous avons isolée du second tronçon de voies rapides.

6.6.4.5 Analyse de la régulation de la vitesse dans une bretelle de jonction

Cette bretelle est limitée à 50 km/h, après plusieurs kilomètres de tronçon majoritairement en ligne droite et limité à 90 km/h. Nous avons appliqué la même logique à cette zone en calculant

le temps passé par chaque participant dans différentes gammes de vitesse (tableau 24).

TABLEAU 24 – Vitesse pratiquée dans la bretelle et résultats moyens

Nom	% V légale	Intervalle	% temps moyen
Sur-vitesse	>100%	> 50 km/h	61.2%
Vitesse correcte	[100-90]%	[50-45] km/h	26.8%
Vitesse basse]90-80]%]45-40] km/h	10.1%
Sous-vitesse	<80%	<40 km/h	1.85%

Les valeurs moyennes de pourcentages de temps passé dans chaque gamme de vitesse dans cette bretelle, pour l'ensemble de nos participants, sont de 61.2% à plus de 50 km/h (par conséquent en excès de vitesse). La gamme comprise entre 45 et 50 km/h compte pour 26.8% du temps dans la zone, et la gamme 40-45 km/h pour 10.1%. Enfin, les conducteurs passent en moyenne 1,8% du temps à moins de 40 km/h dans cette zone.

Les résultats individuels sont présentés en figure 64. Là encore, la figure nous permet aisément de différencier nos participants, en identifiant par exemple 21 conducteurs (situés à droite sur la figure) qui ont été en sur-vitesse pendant au moins 80% (dont 10 pour l'intégralité de la bretelle). Au contraire, douze autres participants (identifiés par des cercles bleus sur la figure), présentent une vitesse inférieure à 40 km/h pendant au moins 1% du temps. Il est clair que certains effets de la circulation peuvent expliquer ce résultat mais il n'en est pas moins un indicateur, d'une sous vitesse potentiellement entropique au sein du trafic, atteinte localement à cet endroit (**cas 1 ci-après**).

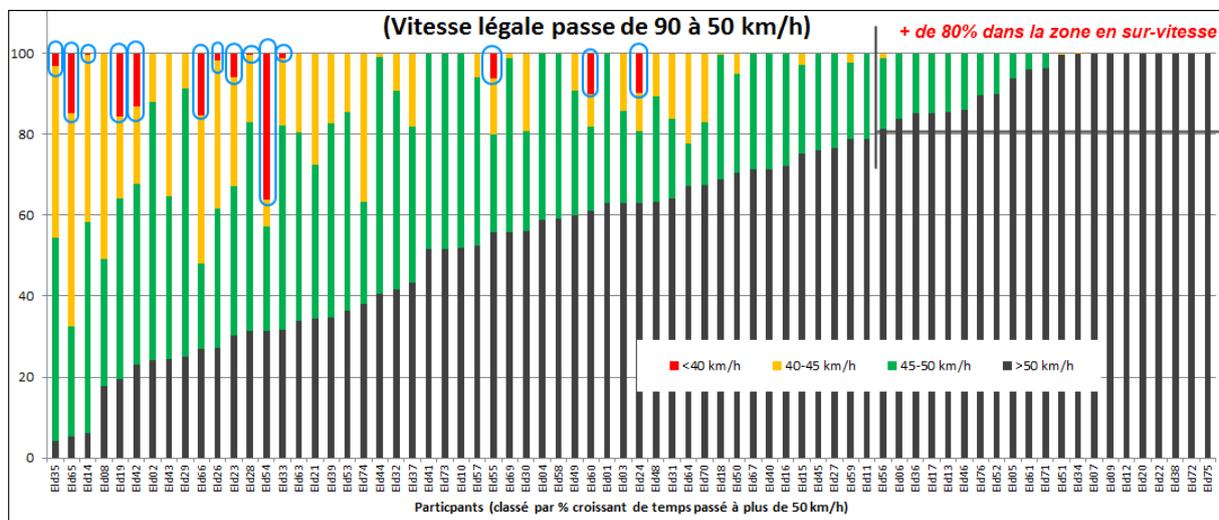


FIGURE 64 – Répartition du temps passé par gamme de vitesse, sur la portion à 50 km/h de la bretelle de jonction, par participant

6.6.5 Analyses de cas

Cas 1 : sous-vitesse en inadéquation avec la circulation

Dans cette bretelle de jonction (visible sur la figure 62 présentée plus tôt), la vitesse maximale autorisée passe de 90 à 50 en raison d'une portion courbée présentant un dénivelé négatif

en approche et positif en sortie. Cette infrastructure possède deux voies de circulation qui se fusionnent en une quelques dizaines de mètres au delà de la portion courbée. Nous proposons de visualiser l'activité de notre conducteur à l'aide d'une chronique (figure 65).

À l'approche du panneau 50, le conducteur regarde son compteur (image 1). Quelques secondes plus tard, il se trouve en entrée du virage et continue de freiner pour négocier la courbe. Au niveau de l'inversion de la courbure, la vitesse du véhicule est d'un peu plus de 30 km/h et on aperçoit un camion qui circule derrière notre conducteur qui se rapproche. Sur la quatrième image, on peut voir que notre conducteur regarde dans son rétroviseur. En effet, le camion qui s'est rapproché davantage, vient de klaxonner pour indiquer à notre conducteur que sa vitesse est très basse. Dans les secondes qui suivent, notre conducteur va accélérer pour revenir à une vitesse plus en accord avec le flux de circulation. Conséquence de sa vitesse basse, on aperçoit un véhicule blanc en approche sur la voie de gauche. Ce véhicule va dépasser notre conducteur alors que les 2 voies se sont déjà fusionnées en une seule depuis plusieurs mètres.

Les jugements que le conducteur a porté sur cette situation se sont focalisés sur ce véhicule blanc qui le dépasse alors qu'il n'en a plus le droit. Par conséquent, notre conducteur déclare avoir parfaitement maîtrisé la situation, en total respect du code de la route, sans prendre de risque ni commettre d'erreur.

Il estime cependant que le comportement de la voiture blanche présente un certain danger, l'a surpris et même gêné. En revanche, il estimera que dans ce type de configuration, aucune aide n'est souhaitable car le problème vient de cet autre conducteur. On comprend ainsi que l'épisode qui précède immédiatement ce dépassement hors délai n'est pas lié, pour notre conducteur, à la vitesse qu'il a pratiqué dans la courbe. Dans ce cas précis, le fait qu'il n'y ait pas de véhicule devant notre conducteur qui circule à une vitesse relativement basse amène à se demander pour quelle(s) raison(s)? Seule l'infrastructure avec ce large virage semble expliquer pourquoi ce dernier circule à une vitesse si basse à cet endroit, alors même que l'on sort d'un tronçon de périphérique et que l'on s'apprête à entrer sur une portion d'autoroute (limitée à 90 km/h).

6.6.6 Conclusion synthétique et perspectives

Les résultats que nous avons présentés semblent indiquer une hétérogénéité parmi nos participants en terme de vitesse pratiquée, mais également concernant sa régulation. Nous avons identifié relativement peu de cas de sur-vitesse, ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle les conducteurs âgés sont, d'une manière générale, respectueux des limitations de vitesse, à condition qu'ils aient connaissance de cette dernière sur une portion donnée.

L'approche de segmentation du temps passé par gamme de vitesse nous semble pertinente pour cerner le profil de nos conducteurs concernant cette dimension élémentaire de la conduite. Bien sûr, les éléments soulignés dans cette partie sont à approfondir en considérant la sur-vitesse d'une part, et la *sous-vitesse entropique* d'autre part en fonction du contexte de conduite, notamment en s'intéressant à l'autre dimension d'appréciation du contrôle longitudinal qui concerne la régulation du temps inter-véhiculaire. C'est l'objet de la section suivante.

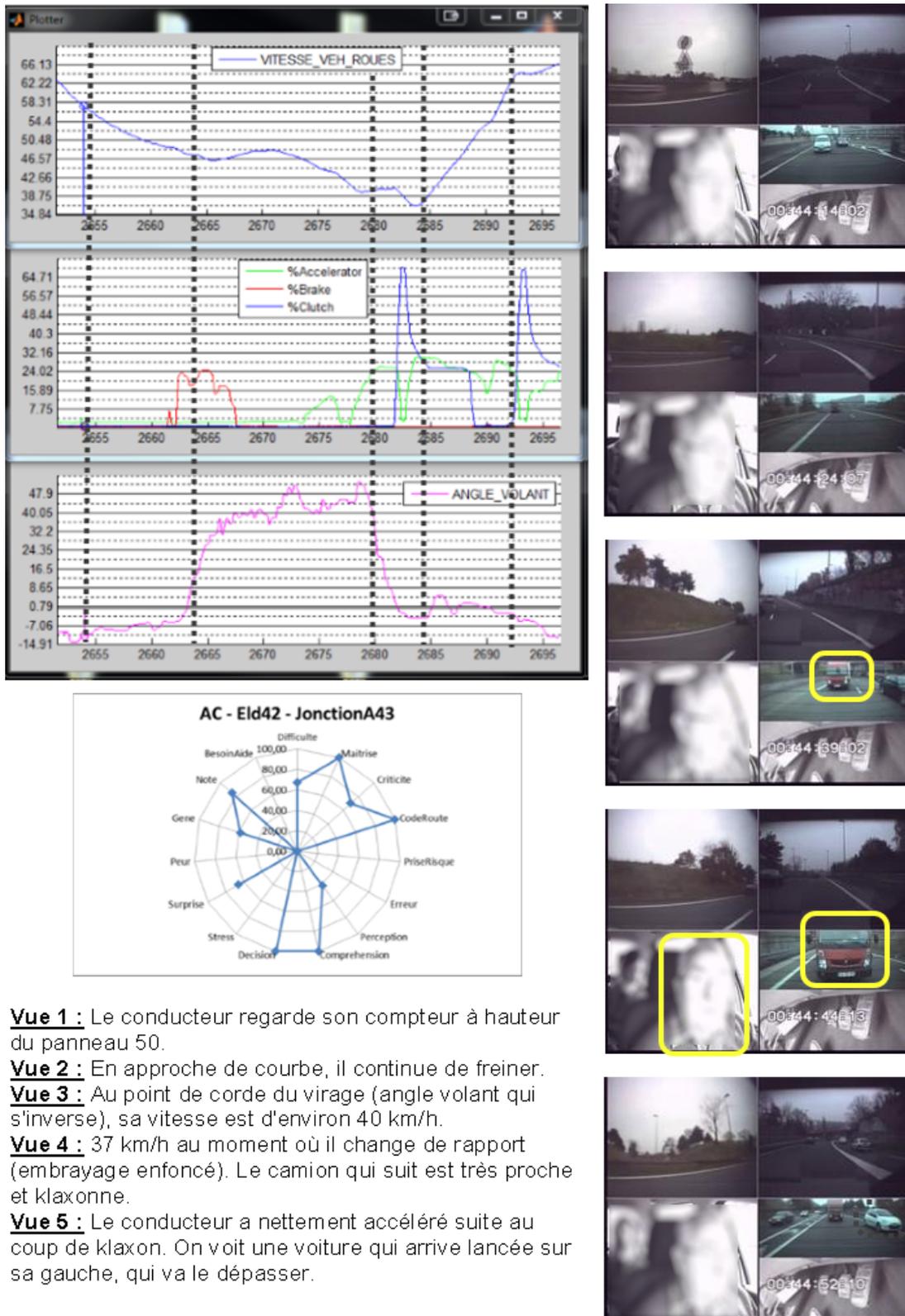


FIGURE 65 – Chronique Eld42_BretelleA43 - vitesse en inadéquation avec le flot de circulation

6.7 Gestion de l'espace inter-véhiculaire

La gestion de l'intervalle de sécurité est une autre tâche importante du contrôle longitudinal. En fonction des conditions de circulation et des lieux où l'on circule, cet intervalle fluctue. Hors agglomération et pour les portions roulantes, le code de la route recommande un intervalle de sécurité de 2 secondes.

6.7.1 Tâche de gestion de l'espace inter-véhiculaire

Pour contrôler l'espace qui sépare son véhicule du véhicule qui le précède, le conducteur doit détecter les variations de vitesse de ce dernier afin d'adapter sa vitesse, pour maintenir cet intervalle de sécurité. Sur voies rapides, les zones d'interactions avec d'autres usagers sont fréquentes aux niveaux des entrées et sorties et amènent les conducteurs à devoir contrôler l'espace inter-véhiculaire fréquemment pour le réguler dynamiquement. En fonction du style de conduite, des espaces inter-véhiculaires plus courts peuvent être observés par exemple si le conducteur a tendance à dépasser fréquemment (et donc se rapprocher du véhicule suivi à cette fin) par exemple. Dans d'autres cas, une conduite moins rythmée et un espace inter-véhiculaire large peut engendrer des rabattements d'autres véhicules dans cette espace, obligeant à réguler. En théorie cependant, ces phases de proximité ne devraient pas durer trop longtemps sans quoi elles seraient révélatrices d'une tendance à rouler proche des autres véhicules.

6.7.2 Question de recherche

La perception des mouvements est, comme nous l'avons rapporté de la littérature, une des tâches qui semble pouvoir poser des difficultés aux conducteurs âgés. Dans cette régulation, le temps de traitement accru peut entraîner des réactions tardives. Par ailleurs, la distance de suivi adoptée par ces conducteurs semblerait plus importante pour faciliter l'anticipation en adoptant une marge supplémentaire. Il s'agit donc de s'intéresser au temps inter-véhiculaire qui est adopté par nos conducteurs sur voies rapides pour vérifier si cette logique de protection est si répandue.

6.7.3 Méthode d'investigation

Nous disposons à ce niveau des données objectives en provenance du véhicule, et des retours formulés par la monitrice. Nous disposons de données précises sur la dynamique des objets situés devant le véhicule. Ainsi, pour appréhender la régulation de l'espace inter-véhiculaire, nous nous focaliserons principalement sur l'espace inter-véhiculaire avant. Le recours à la vidéo peut également nous apporter des informations concernant la proximité des véhicules situés à l'arrière ou autour du véhicule. Nous présenterons d'autres exemples concernant l'espace inter-véhiculaire avant et arrière lorsque nous aborderons les situations de changements de voie et d'insertion sur voie rapide.

Le radar disposé derrière le pare-choc avant permet de détecter jusqu'à 40 cibles en simultanément, pouvant se trouver jusqu'à 200 mètres devant le véhicule. Parmi ces cibles, il y a potentiellement un véhicule qui se trouve devant notre véhicule (i.e. dans la même voie), mais également un ensemble d'autres objets qui sont moins pertinents. La première étape consiste donc à filtrer les données radar afin d'isoler la cible principale qui se situe devant notre véhicule. Sur cet aspect technique, l'équipe de Continental met son expertise à notre service pour filtrer les données pour

isoler la cible la plus pertinente et extraire les informations en lien avec sa dynamique. Ainsi, nous obtenons, pour chaque pas de temps l'identifiant de la cible isolée, ainsi que l'espace inter-véhiculaire qui sépare notre véhicule de cette cible. Cet espace est traduit en distance, qui permet de calculer un temps inter-véhiculaire (tiv) en prenant en compte la vitesse de notre véhicule, ou un temps au contact (TTC) qui prend en compte le différentiel de vitesse entre les deux véhicules [Vogel, 2003]. Le TTC étant très sensible, nous nous focaliserons sur le paramètre tiv. Pour mesurer la performance de suivi, il nous faut identifier des plages de temps suffisamment longues afin de les caractériser. Cette condition invite donc à se focaliser aux phases de conduite sur le périphérique, afin d'apprécier le temps de suivi que nos conducteurs ont tendance à adopter.

Pour identifier une plage de suivi, nous recherchons un identifiant de cible stable pendant plusieurs secondes, par exemple 10 secondes. À partir de ce critère, les phases dans lesquelles un autre véhicule traverse brièvement l'espace inter-véhiculaire sont exclues (ex. pour s'insérer devant notre véhicule et changer de voie dans la foulée, pour se rabattre et prendre une sortie). En revanche, si le véhicule était en suivi depuis 10 secondes avant et pendant 10 secondes après la traversée de cet autre véhicule, nous obtenons deux situations de suivi du même véhicule. Nous isolons également ces séquences.

6.7.4 Résultats

6.7.4.1 Avis de la monitrice

Concernant le contrôle et la gestion de l'espace inter-véhiculaire, la monitrice nous a rapporté pour 7 participants une tendance générale à ne pas respecter une distance de sécurité suffisante sur voies rapides. Cela concerne en grande partie la gestion de l'espace au véhicule qui précède (Eld01, Eld18, Eld52 et Eld61). De façon plus locale, cela concerne une difficulté à estimer la distance et la vitesse des autres véhicules dans les situations de rabattement (Eld12, Eld42, Eld53). De plus, deux participants (Eld48 et Eld72) ont été invités, par la monitrice, à dépasser car ils suivaient des véhicules poids lourds sur le périphérique, à des distances trop courtes et ce depuis plusieurs kilomètres.

6.7.4.2 Analyse du temps inter-véhiculaire sur voies rapides

Pour chaque situation de suivi, nous allons distinguer différents niveaux de proximité lorsqu'un véhicule se trouve devant le nôtre. La phase *hors suivi* est qualifiée par un TIV compris entre 5 et 3 secondes, ce n'est pas encore un suivi. La phase de *suivi effectif* correspond à un TIV qui est inférieur à 3 secondes. Ce suivi est qualifié de *correct* lorsqu'il est situé supérieur à 1.8 secondes (en lien avec les 2 secondes préconisées par le code de la route), de *proche* lorsqu'il est entre 1.8 secondes et 1.2 secondes, de *risqué* s'il est compris entre 1.2 et 0.6 secondes. Enfin, il est qualifié de *critique* s'il est inférieur à 0.6 secondes. Les valeurs de segmentations retenues correspondent à la définition des zones enveloppes proposées par [Bellet, 1998].

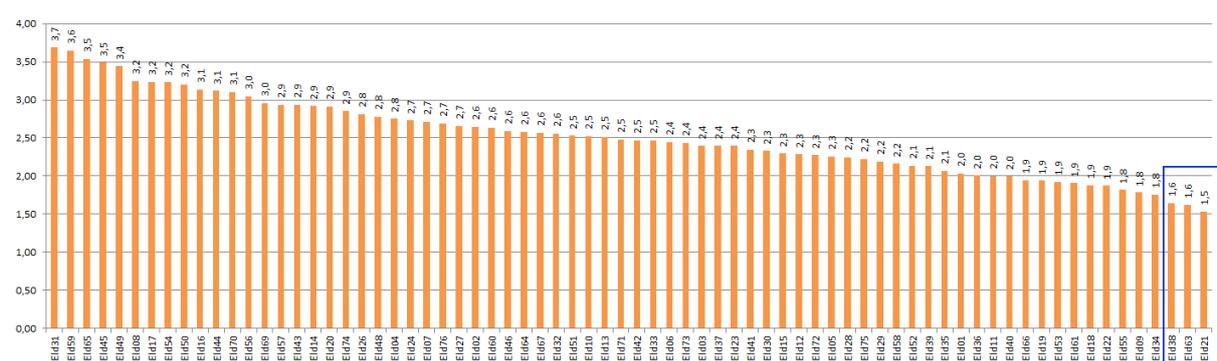
À partir de la méthode indiquée, nous obtenons 683 séquences de suivi pour nos 72 participants inclus. La durée moyenne des séquences est de 52 secondes (maximum = 254 secondes). Pour chacune de ces situations, nous avons calculé la durée, la moyenne et les bornes du TIV (tiv_moy, tiv_min et tiv_max). Nous avons également distingué le pourcentage de temps (avec un objet devant notre véhicule) passé hors suivi (*non suivi*) et en suivi effectif (*suivi*) qui sont présentés dans le tableau 25).

On constate qu'en moyenne, dans près d'un tiers du temps, nos conducteurs sont à un temps du véhicule qui les précède qui correspond à un *non suivi*, ce qui tendrait à confirmer leur tendance à suivre de loin. La valeur de TIV moyen pour l'ensemble des participants est de 2,51 secondes (SD=0.52) ce qui correspond, en moyenne, à un suivi correct. Le minimum moyen est de l'ordre de 1,23 secondes, ce qui correspond quasiment à la frontière basse entre le suivi proche et le suivi risqué. Le maximum moyen est de 4,25 secondes, ce qui correspond à une phase de conduite libre (non suivi).

TABLEAU 25 – Valeurs moyennes générales pour tous les suivis identifiés

	Durée_moy	Tiv_moy	Tiv_min	Tiv_max	non suivi	suivi
Moyenne	53s	2,51s	1,23s	4,25s	32,33%	67,67%

Au-delà de cette appréciation moyenne du TIV pratiqué sur voies rapides, nous pouvons également comparer les valeurs obtenues par nos participants. La figure 66 présente les valeurs de TIV moyen par participant, du plus éloigné ou plus proche. On peut noter que seuls trois participants obtiennent une valeur moyenne qui correspond à un suivi proche (Eld38, Eld63 et Eld21).



1,68%) de suivi à des intervalles inférieurs à 0,6 secondes, ce qui est potentiellement très risqué voire critique.

Pour vérifier si les valeurs que nous observons ici donnent un aperçu correct de l'ensemble de notre population, intéressons nous au même indicateur, mais cette fois-ci en moyennant les résultats par participant. La figure 67 présente la répartition des intervalles de suivi pour chaque participant.

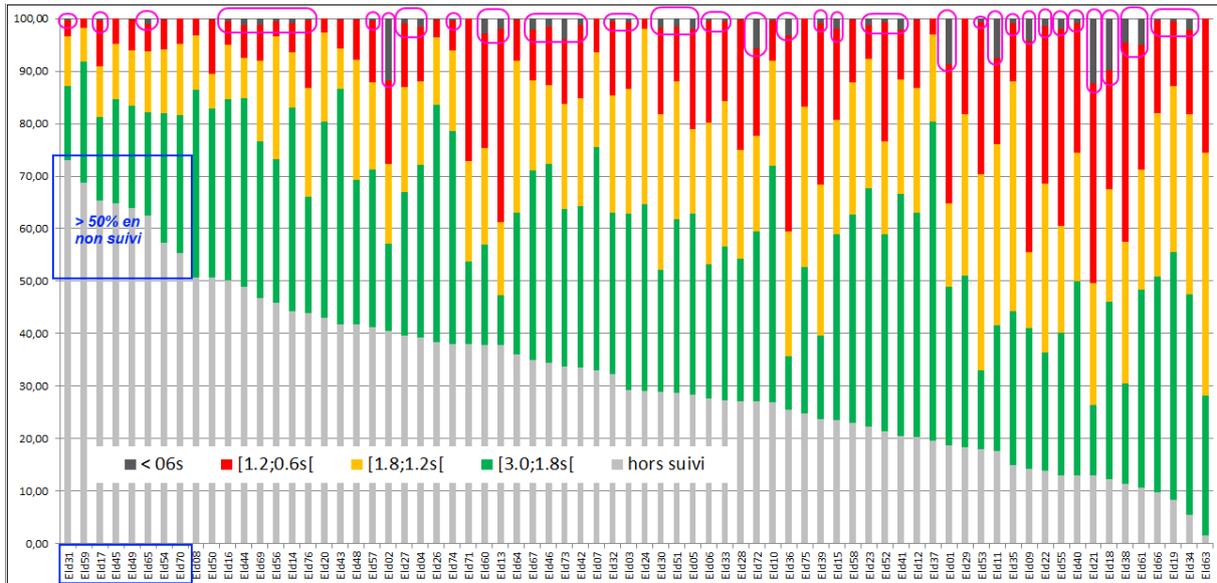


FIGURE 67 – Gammes de proximité du suivi par participant, par temps en suivi croissant

Nous voyons sur cette figure que de nombreux participants ont passé la majeure partie de leur temps de conduite sur le périphérique *hors suivi*. Nous proposons de les identifier.

A - Participants majoritairement *hors suivi*

Sur cette figure 67, on identifie 9 participants qui ont passé plus de la moitié du temps où un véhicule se trouvait devant dans la gamme hors suivi (à plus de 3 secondes). L'effet de la densité de circulation qu'ont rencontré ces participants peut expliquer cette valeur. Mais les pourcentages moyens de temps passé par ces participants dans les zones de *suivi effectif* (TIV inférieur à 3 secondes) semblent se concentrer en majorité au dessus de 1.8 secondes, ce qui confirme qu'ils ont une tendance à rester majoritairement espacés des véhicules qui les précèdent.

Nous allons nous focaliser sur les 63 participants qui ont passé la majorité du temps en suivi effectif. Il s'agit de voir s'il est possible de distinguer des groupes de participants qui se situent majoritairement dans une zone en particulier.

B - Participants majoritairement en *suivi correct*

Si l'on s'intéresse à la zone de suivi à distance réglementaire (3.0 à 1.8 secondes), on identifie 15 participants qui sont majoritairement dans cette gamme (tableau 27).

TABLEAU 27 – Valeurs moyennes en suivi, 15 participants favorisant la gamme 3.0-1.8 secondes

participant	Tiv_moy	Tiv_sd	r_hs	r30_18	r_18_12	r_12_06
Eld37	2,40	0,46	19,70	60,59	16,62	3,09
Eld19	1,94	0,61	8,40	47,13	31,55	12,42
Eld41	2,35	0,64	20,45	46,18	21,74	9,56
Eld26	2,69	0,63	34,08	45,53	12,86	7,36
Eld23	2,39	0,83	22,24	45,41	24,65	6,56
Eld10	2,52	0,51	26,90	45,12	19,88	7,74
Eld43	2,93	0,77	41,77	44,76	7,79	5,46
Eld34	1,78	0,59	6,51	43,10	30,82	17,70
Eld24	2,68	0,60	26,38	43,09	29,19	1,34
Eld12	2,29	0,71	20,36	42,70	23,80	13,06
Eld07	2,72	0,47	33,02	42,54	17,99	6,45
Eld08	3,11	0,64	45,38	41,81	9,69	3,12
Eld66	1,94	0,70	9,83	41,08	31,08	17,71
Eld40	2,13	0,43	16,65	40,54	21,36	20,68
Eld74	2,85	0,72	38,09	40,47	15,32	5,70

Pour ces participants, le suivi s'effectue dans la gamme *suivi correct* entre 40 et 60% du temps cumulé pour lequel un véhicule se trouve devant eux. Ils affichent donc une proximité plus grande que les 9 participants que nous avons identifié comme privilégiant une marge de sécurité supplémentaire, mais tout en respectant les recommandations du code de la route.

D - Participants au temps important passé en *suivi critique*

Intéressons nous à présent aux conducteurs qui ont un pourcentage de temps cumulé en suivi critique supérieur aux autres. La figure 68 présente les pourcentages du temps en suivi, passé dans l'intervalle critique.

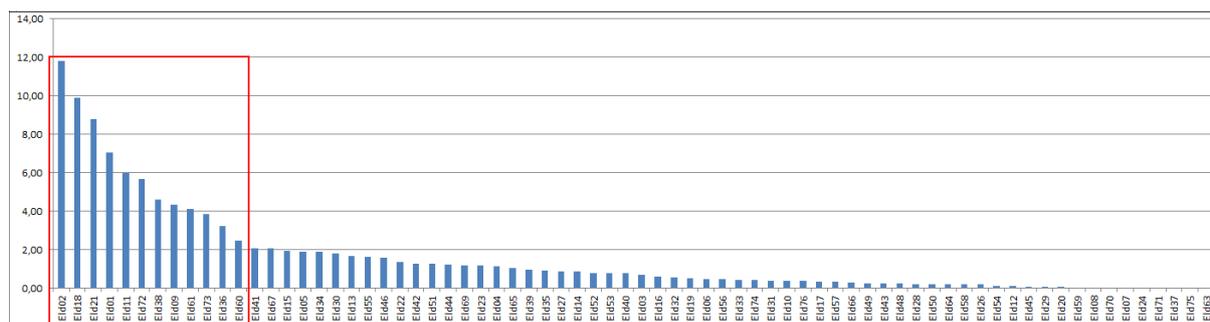


FIGURE 68 – Pourcentage de temps en suivi effectif critique

On distingue nettement l'hétérogénéité parmi nos participants. On peut voir que 12 participants affichent un taux de suivi critique de plus de 2%. On retrouve Eld21 à la troisième place avec plus de 8% du temps en suivi dans une gamme critique et Eld38 avec plus de 4%, qui rappelons le, présentaient les TIV moyens les plus courts. Un temps inter-véhiculaire si court est très risqué dès lors qu'il s'étend sur une durée importante. Nous pensons avoir limité l'impact des phases d'interférence d'autres véhicules dans l'intervalle de sécurité à partir de notre critère. Il semblerait cependant qu'il reste un nombre de cas non négligeables (principalement

pour ces 12 participants) durant lesquels d'autres véhicules situés devant eux se sont trouvés très proches. Il va s'agir d'approfondir ces analyses en les appliquant notamment à des situations de dépassement, de changement de voie, et d'insertions.

6.7.5 Conclusion synthétique et perspectives

Nous savons à présent que le temps inter-véhiculaire est une mesure tout à fait exploitable pour des analyses plus en profondeur. À partir de ce que nous avons présenté, il semble clair que c'est la régulation dynamique du temps inter-véhiculaire qu'il faudra étudier, afin de discriminer les occurrences *critiques* qui relèvent d'un temps de réaction plus élevé qui entraîne une réduction du tiv, ou plutôt d'un style de conduite plus offensif qui consisterait à dépasser fréquemment voire changer de voie en étant proche des véhicules qui précèdent. Nous avons débuté ces analyses au niveau des zones d'interactions sur le périphérique, ainsi que dans certaines situations de dépassement, pour déterminer le TIV minimal atteint dans ces manœuvres. Lors de rabattement derrière un véhicule au cours d'un changement de voie, nous nous intéressons également, dans l'avenir, au temps nécessaire au conducteur pour revenir à une distance de suivi sécuritaire.

6.8 Gestion du positionnement dans sa voie

Le contrôle latéral est la seconde dimension élémentaire ayant trait à l'utilisation d'un véhicule qui est facilitée par la démarcation des voies de circulations au sein de l'espace roulant des infrastructures routières.

6.8.1 Tâche de gestion du positionnement dans sa voie

La position dans la voie varie en fonction de l'activité du conducteur. Dans le cas d'un changement de voie par exemple, le véhicule va se rapprocher progressivement du marquage du côté où il souhaite aller, avant de chevaucher ce marquage et de le traverser intégralement pour se retrouver sur la nouvelle voie. Dans ce contexte, une excentration dans la voie est tout-à-fait logique. Si à présent, le conducteur se déporte sur un des marquages puis se recentre, sans avoir eu l'intention de changer de voie, on peut considérer que c'est une sortie de voie. Cette sortie de voie peut s'expliquer par les conditions externes, par exemple pour éviter un obstacle situé sur la voie. Si aucune condition externe n'explique le chevauchement d'un marquage au sol, il faut s'intéresser aux motivations du conducteur. Dans le franchissement d'un virage, une optimisation de trajectoire peut conduire à mordre le marquage extérieur en approche par exemple. Mais si la sortie de voie est observée en sortie de virage, on peut conclure à une mauvaise gestion de l'approche de ce virage, qui se manifeste par une trajectoire qui dépasse de la voie qui est réservée au véhicule. Nous proposons de nous focaliser sur la conduite sur le périphérique afin de qualifier le contrôle de la position du véhicule dans sa voie.

6.8.2 Question de recherche

La conduite sur voies rapides impose un rythme de conduite plus élevé et des interactions plus dynamiques du fait de la vitesse des autres usagers. Dans ce contexte, le contrôle de la trajectoire peut s'avérer plus complexe pour certains conducteurs, en fonction des situations rencontrées. Par conséquent, le respect des voies de circulation est d'autant plus important sur ce type de tronçon routier, or nous avons identifié cette tâche comme potentiellement problématique pour les conducteurs âgés. Il s'agira de s'intéresser à la performance des participants dans cet aspect de la conduite.

6.8.3 Méthode d'investigation

Le contrôle latéral peut s'analyser selon deux angles : le positionnement dans la voie (lane keeping), et l'utilisation du volant (steering). Nous disposons à ce niveau des données objectives en provenance du véhicule, et des retours formulés par la monitrice. Nous disposons de données précises sur la position du véhicule dans sa voie lorsque les marquages au sol sont nets, et que la portion sur laquelle on circule n'est pas trop courbée (du fait de l'angle de vision de la caméra). Le recours à la vidéo peut également nous apporter des informations concernant la position du véhicule dans la voie, notamment en virage, là où la détection par caméra est mise en défaut. Le système de détection de la position du véhicule dans sa voie est d'autant plus efficace que la qualité des marquages est bonne. Par conséquent, nous proposons de nous intéresser aux tronçons de périphérique pour analyser le respect des voies de circulation par nos participants.

À partir des mesures de la largeur de la voie et de la position du centre du véhicule par rapport au centre de la voie, nous rebâtissons la position des bords de voies, ainsi que la position des roues du véhicule, à droite et gauche. Une illustration du résultat est proposée en figure 69. À partir de ces paramètres, on peut rechercher les moments où les roues chevauchent les marquages au sol, en excluant les situations de changement de voie. Pour ces situations (ex. sur la figure 69, à $T=1705$ ou $T=1770$), on voit que la position de la roue gauche se trouve au delà du marquage de gauche. On voit au temps suivants que la largeur de voie évolue (elle se réduit légèrement), et que la position de la roue gauche bascule du côté droit de la voie (le O correspond au centre de la voie, une valeur positive à gauche, et négative à droite), celle vers laquelle le conducteur s'est déplacé. On observe sur la courbe au voisinage de $T=1730$, une période pendant laquelle le véhicule s'est rapproché du bord gauche de la voie.

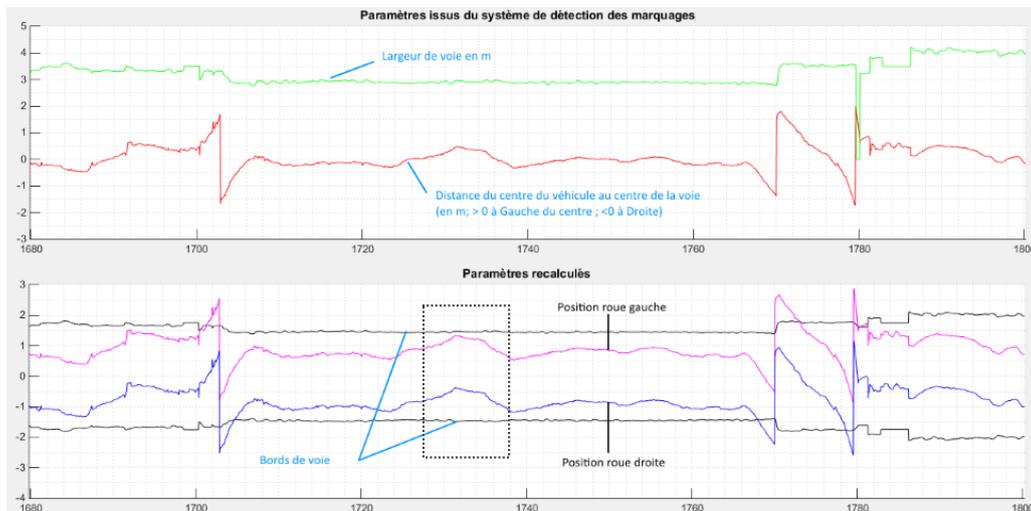


FIGURE 69 – Illustration des paramètres pour la position du véhicule dans la voie

Nous isolons les phases de conduite sur le périphérique. Dans ces fenêtres d'analyse, nous identifions d'abord tous les moments *DansVoie* pour lesquels le véhicule est dans sa voie (par conséquent aucune roue n'est en contact avec un marquage). Nous recherchons ensuite les instants pour lesquels une des roues du véhicule est en contact avec un marquage pour définir un *Mordu* (si la roue droite touche le marquage de droite, on obtient un *mordu droite* par exemple). Si la position de la roue du véhicule est 10 cm au delà du bord intérieur du marquage, nous identifions un *Coupé*. Enfin, si le quart de la largeur du véhicule se trouve au-delà du marquage, nous définissons un *Franchi*. Dans cette rationalité, un changement de voie se matérialise par un *Mordu* suivi d'un *Coupé*, d'un *Franchi*, et d'un *DansVoie*. Afin d'exclure ces manœuvres, nous isolons donc toutes ces séquences. Nous obtenons alors un nombre de *Mordu* et de *Coupé* qui constituent des défauts de maîtrise potentiels.

6.8.4 Résultats

6.8.4.1 Avis de la monitrice

Dans les retours formulés par la monitrice, une part relativement importante de commentaires concerne la position dans la voie adoptée par les participants. Un certain nombre ont d'après notre experte une tendance à se positionner trop à gauche dans leur voie. Pour d'autres, c'est la

donné un score de défaut plus faible. Mais cet indicateur reste très flou, puisqu'il s'agit de contextualiser les occurrences de ces défauts de respect de sa voie de circulation dont l'origine, ainsi que l'évaluation en termes de risque situationnel sont à prendre en compte. Nous proposons quelques cas dans la section suivante qui présentent différentes configurations de défaut de maîtrise.

6.8.5 Analyses de cas

Cas 1 : Sortie de voie pour le dépassement d'un camion

La figure 71 présente un cas de dépassement d'un camion large qui amène le conducteur à mordre le marquage de gauche (ici, un zébra). Dans ce contexte, on peut dire que la sortie de la voie ne représente pas vraiment de danger, dans la mesure où elle résulte d'une manœuvre délibérée du conducteur, bien qu'elle représente une infraction du point de vue du code de la route.



FIGURE 71 – Cas de *mordu* à gauche pour le dépassement d'un camion, hors périphérique

Cas 2 : Défaut de maîtrise de la trajectoire avec un véhicule en train de dépasser

La figure 72 présente un cas de sortie de la voie sur la gauche dans une portion courbée, alors qu'un véhicule dépasse notre conducteur. Il s'agit là d'un défaut de maîtrise de la trajectoire qui aurait pu s'avérer très problématique (on peut voir la proximité du véhicule dans la vue avant).



FIGURE 72 – Cas de *mordu* à gauche, en virage, pendant qu'un véhicule dépasse notre conducteur

Cas 3 : Défaut de maîtrise du positionnement dans la voie en approche de TàG

La figure 73 présente un cas de double interaction (sur une quinzaine de secondes environ) entre une de nos conductrices et un camion, dans une scénario incluant un TàG évoqué dans la section dédiée précédente.

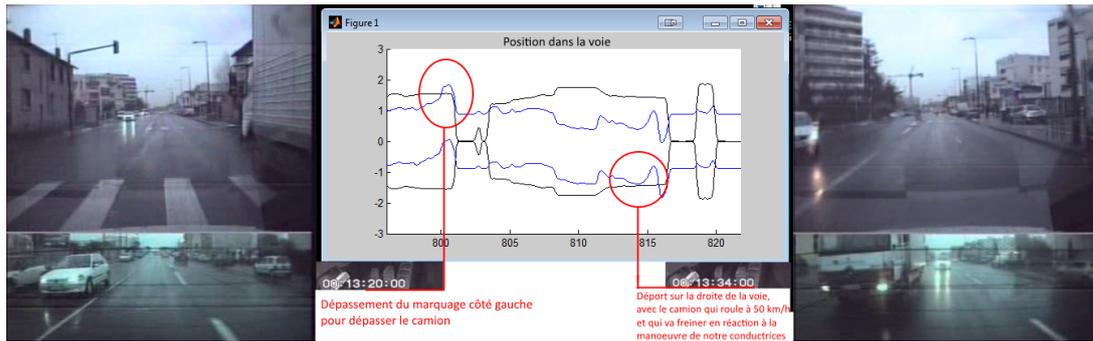


FIGURE 73 – Cas de *mordu* à droite, en approche de TàG, perturbant le trafic arrière

Le premier instant correspond à une sortie de voie sur la gauche pour prendre une marge de sécurité sur le camion qui se trouve voie de droite. Environ 14 secondes plus tard, notre conductrice va tourner à gauche. On identifie un déport sur la droite de sa voie, alors que le camion est juste derrière. La monitrice nous a rapporté que le camion avait été contraint de freiner en réaction à la manœuvre préparatoire de notre conductrice. Elle a vérifié son rétroviseur central deux fois après avoir dépassé le camion, mais plusieurs secondes avant d’engager sa manœuvre préparatoire. Elle a probablement mal estimé la vitesse de déplacement du camion et pensait avoir le temps de passer sans générer d’interférence. La conductrice n’a pas eu conscience du problème.

6.8.6 Conclusion synthétique et perspectives

Les paramètres disponibles concernant la position du véhicule dans la voie nous permettent d’identifier des situations pour lesquelles le véhicule chevauche voire dépasse de sa voie. Nous avons présenté plusieurs exemples de nature très différentes, il faut donc analyser plus en détails ces situations afin de qualifier les défauts de maîtrise (qui peuvent être légitimes ou illégitimes en fonction du contexte), et surtout pour caractériser le risque situationnel.

Nous avons mené cette analyse sur les tronçons de voies rapides pour assurer une bonne qualité de données et adopter une approche globale pour l’ensemble des participants. Néanmoins, certains autres endroits du parcours permettent d’envisager des analyses plus localisées (comme nous l’avons présenté pour les **cas 1**, **cas 2** et **cas 3 ci-avants**).

L’angle au volant ainsi que sa vitesse de rotation sont également mesurés par le biais d’un capteur précis à une fréquence d’acquisition élevée (100hz). De plus, un accéléromètre nous permet d’apprécier l’accélération latérale. Nous avons débuté des analyses en lien avec la gestion du volant, notamment via deux indicateurs que sont le *Steering wheel Reversal Rate* (taux d’inversion du volant) que nous estimons en fonction de la distance parcourue [Malaterre, 1994], ou le *Steering wheel Entropy* proposé par [Nakayama et al., 1999]. Ces deux indicateurs donnent une information sur le caractère oscillatoire du volant qui peut indiquer une difficulté à gérer le contrôle latéral dans certaines situations (en insertion par exemple). Les analyses des accélérations latérales pourraient permettre de détecter les régulations observées (coups de volant), sur des sections roulantes en ligne droite ou en virage.

6.9 Les manœuvres de Changement de voie

Les dimensions du contrôle latéral et longitudinal sont très importantes dans les manœuvres de changements de voies qui supposent un partage d'attention entre la scène routière avant et la scène arrière, ainsi qu'un signalement adéquat de ses intentions auprès des autres usagers.

6.9.1 Tâche de conduite en Changement de voie

Changer de voie est une tâche dont la fréquence peut varier en fonction du style de conduite et des lieux de circulation. Un conducteur peut souhaiter changer de voie en préparation d'un changement de direction comme un TàG, pour suivre une direction sur autoroute ou encore pour dépasser un autre véhicule.

La réalisation d'un Changement de voie (ChV) pour le suivi de direction suppose d'identifier la direction à suivre, et de réaliser le changement de voie à proprement parler. La vérification de la présence de véhicule dans son voisinage est attendue, et ce en préalable de toute action. Une fois cette connaissance sur ce qui entoure le véhicule acquise, l'identification de la direction à suivre (si nécessaire) et la recherche d'un créneau d'insertion supposent un partage d'attention entre ce qui passe devant le véhicule et derrière le véhicule. Idéalement, le clignotant (ici celui de gauche) ne devrait être activé qu'une fois le créneau identifié. Ensuite, la manœuvre consiste à se rapprocher du bord de la voie du côté correspondant à la direction désirée avant de chevaucher le marquage et de le franchir intégralement. Dans cette phase, il est nécessaire de contrôler l'espace inter-véhiculaire avec la circulation arrière, voire également la circulation avant.

6.9.2 Question de recherche

Nous retrouvons dans ce type de situations la question du partage d'attention entre ce qui se passe à l'avant et ce qui se passe à l'arrière. Les stratégies visuelles sont très importantes pour ces manœuvres, afin de la réaliser le plus en sécurité possible, d'autant plus sur des tronçons à vitesse élevée. Le séquençement des vérifications visuelles et le signalement des intentions est nécessaire dans cette tâche.

6.9.3 Matériau disponible

6.9.3.1 Changements de voie du parcours

Le parcours expérimental comporte un minimum de 7 changements de voie imposés pour le suivi de l'itinéraire. En complément de ceux-ci, les participants ont pu réaliser autant de changements de voies qu'ils le souhaitaient (ex. pour dépasser sur le périphérique). D'un autre côté, en fonction de leur choix de voie à certains moments, il est arrivé que ces changements de voies imposés n'aient pas lieu (ex. un participant qui se place voie de gauche directement en tournant à gauche dans un carrefour à feux). Ces changements de voies imposés correspondent soit à des positionnement en vue d'une manœuvre de TàG, soit à des ChV pour le suivi d'une direction indiquée par la monitrice (repérés par le préfixe `_dir`). Le tableau 28 donne la description des ChV imposés sur le parcours.

TABLEAU 28 – ChV observés sur le parcours

Nom ChV	Contexte	Nb	Mon / AC
ChV_dir_7Chemins	Rural	76	X
ChV_guill	Urbain	76	X
ChV_poud1	Urbain	76	-
ChV_poud2	Urbain	76	-
ChV_dir_Grenoble	Périphérique	75	X
ChV_dir_Eurexpo	Urbain	75	X
ChV_droitsHomme	Rural	75	-

6.9.3.2 Vue d'ensemble des observations en Changements de voie

La figure 74 donne une vision synthétique des observations de la monitrice et des jugements des participants pour les Changements de voie systématiquement évalués par notre experte et nos conducteurs. On retrouve donc de haut en bas les Changements de voie ChV_dir_7Chemins, chv_guill, dir_Grenoble et dir_Eurexpo.

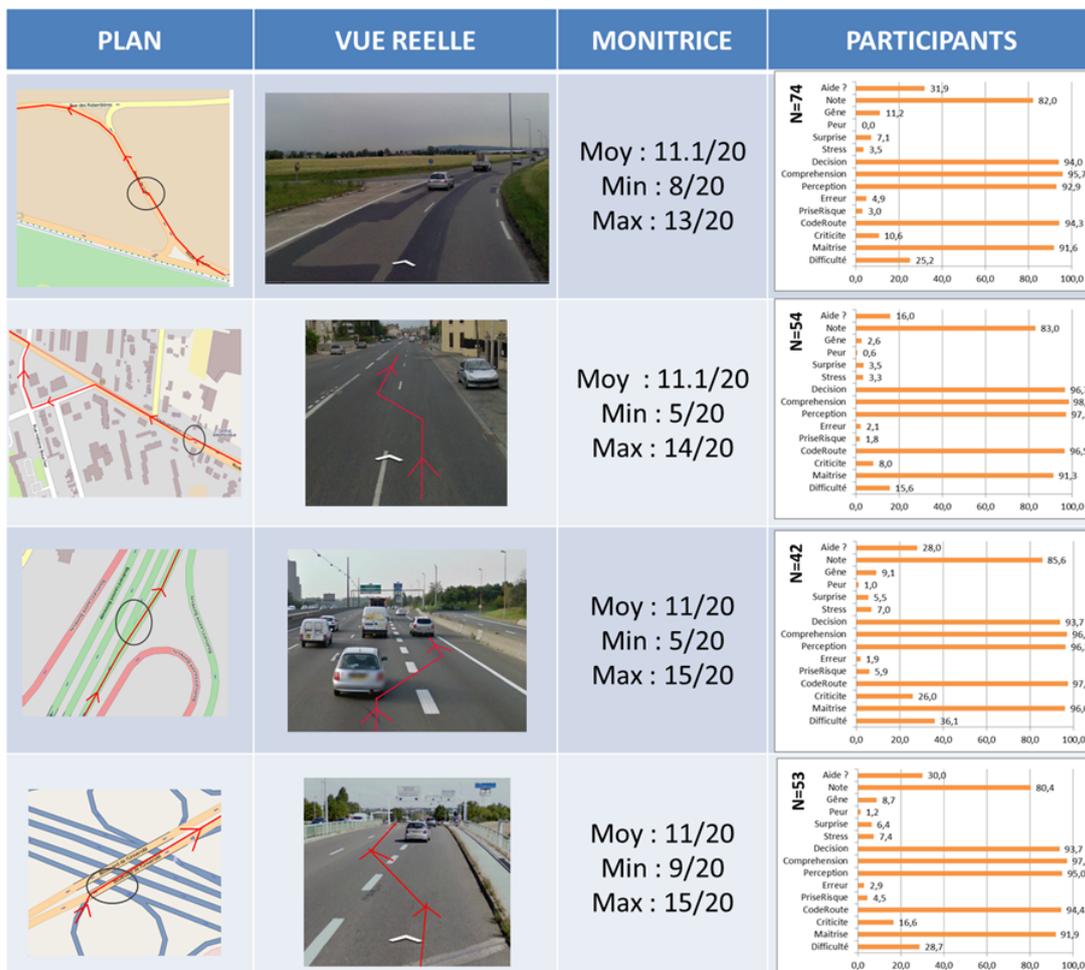


FIGURE 74 – Vue d'ensemble des observations Changements de voie

Ce tableau indique, dans la colonne la plus à droite, le nombre d'auto-confrontations effectivement réalisées pour l'infrastructure considérée. Comme nous l'avons indiqué, nous avons

régulièrement privilégié d'autres situations durant l'auto-confrontation dès lors que les participants nous indiquaient qu'il n'y avait rien à signaler pour cette situation.

On voit à travers cette vue d'ensemble qu'il y a une certaine homogénéité dans les évaluations moyennes réalisées par la monitrice. Les notes minimales attribuées permettent à nouveau d'identifier des problèmes saillants observés dans ces manœuvres. Les participants évaluent quant à eux ces situations de façon comparable en moyenne, à l'exception de la difficulté de conduite qui est jugée comme plus élevée pour les situations de ce type survenant hors agglomération.

6.9.4 Analyse des difficultés et des erreurs

6.9.4.1 Évaluation de la monitrice

Les remarques et commentaires émis par la monitrice pour ces situations sont présentés dans le tableau 29.

TABLEAU 29 – Remarques monitrice pour les manœuvres de ChV

Type remarque	Fréquence
Absence de contrôle de l'angle mort	++
Utilisation du rétroviseur central seul	++
Manque de supervision durant la manœuvre	+
Sélection d'un créneau d'insertion limite	+
Séquence signalement-contrôle visuel-placement inadapté	+

6.9.4.2 Classification des situations-problèmes

Nous avons identifié **45 situations-problèmes pour l'ensemble des Changements de voie** du parcours, dont une classification est présentée dans le tableau 30.

TABLEAU 30 – Classification des situations-problèmes en Changements de voie / dépassements

Type de difficulté / erreur en ChV/Dep	Nb
négligence surveillance	13
zone de travaux	7
estimation du créneau arrière	6
dépassement interdit	6
entropie sortie périphérique	4
trajectoire	2
choix voie	2
distance de sécurité avant	2
chV dans intersection	2
angle mort	1
Total	45

On retrouve la remarque principale formulée par la monitrice concernant la négligence de surveillance des véhicules se trouvant autour de soi avant d'engager un changement de voie dans 13 cas. Un premier cas de dépassement par double changement de voie sans aucune vérification pour le second changement en présence de trafic arrière est également présenté (**cas 1 ci-après**).

Un second cas s'est déroulé en milieu urbain cette fois-ci et implique un conducteur qui suit un véhicule qui s'arrête soudainement pour se stationner sur le trottoir. Notre conducteur s'apprêtait à engager un changement de voie alors que de nombreux véhicules se trouvaient derrière lui et circulaient à une allure proche des 50 km/h (**cas 2 ci-après**). Enfin, un cas aurait pu être particulièrement catastrophique, impliquant un changement de voie vers la gauche sur le périphérique avec un motard qui était en train de remonter par la file du centre (**cas 3 ci-après**).

Les marquages au sol de couleur jaune, indiquant une modification temporaire de l'infrastructure en raison de travaux ont entraîné des réactions tardives de la part de 7 participants. Dans ces cas précis, il s'agissait d'un changement de voie imposé par le tracé temporaire des voies que ces conducteurs ont détecté tardivement, nécessitant parfois une intervention verbale de la part de la monitrice.

Dans certains cas, les stratégies visuelles des participants étaient adaptées mais c'est l'estimation de l'espace devant le véhicule en approche à l'arrière qui était inadapté (**cas 4 ci-après**). Dans d'autres cas, c'est l'approche rapide d'un véhicule qui a engendré des créneaux d'insertion arrière pouvant être jugés comme limite.

Nous avons également observé 6 manœuvres de dépassements interdits. Pour deux cas, il s'agit de dépassement par la droite sur le périphérique justifié comme une stratégie plus simple qu'un dépassement par la gauche par les participants. Bien plus risqués cependant, on compte 4 autres cas de dépassement d'un bus en agglomération, juste avant la priorité à droite. Les conducteurs concernés ne pensaient pas qu'une intersection se trouvait quelques dizaines de mètres au delà de l'arrêt de bus.

Parmi les situations qui ont posées problème, on trouve également les sorties de périphérique pour lesquelles 4 participants ont amorcé un déport en direction d'une sortie qui n'était pas la bonne. Pour les 4 cas listés ici, les véhicules situés à proximité ont dû réguler du fait de la correction apportée par les conducteurs qui s'est déroulée de façon désorganisée, générant de l'entropie dans la circulation.

Deux cas sont identifiés pour un problème de maintien de la trajectoire, un lors du dépassement d'un camion sur le périphérique durant lequel la monitrice a eu un geste en direction du volant du fait d'une proximité dangereuse entre notre véhicule et ce camion. L'autre cas correspond à un conducteur distrait qui a coupé un marquage continu (avant de se replacer dans sa voie) au sortir d'une bretelle de sortie en virage alors que le changement de voie n'était possible que 50 mètres plus loin. Deux autres cas concernent le choix de voie lors d'un suivi de direction. À titre d'exemple, sur un tronçon qui s'élargit d'une à deux voies (avec un seul panneau de direction situé au dessus), une participante est restée au centre des deux voies pendant quelques secondes alors que plusieurs véhicules la suivaient.

Pour deux participants qui suivaient des véhicules lourds sur le périphérique à une distance de sécurité trop faible pendant une longue période, la monitrice est intervenue en les incitant à dépasser. On compte deux autres cas de changements de voies urbains réalisés au niveau d'une intersection et entraînant le passage au feu orange.

Enfin, nous comptons un cas typique de problème d'angle mort lors d'une situation de rattrapement sur la droite. Bien qu'elle puisse relever en partie d'une négligence de la part de la conductrice, cette situation est isolée pour cet aspect *cas d'école*.

6.9.4.3 Analyse détaillée de deux Changements de voie du parcours

Nous disposons de ChV dans différents contextes routiers. Plutôt que de cibler un seul ChV sur le parcours pour en donner une analyse très détaillée, nous proposons d'en retenir deux pour les contextes urbain et rural. Nous retenons ainsi ChV_dir_7Chemins (rural, avec suivi de direction), ChV_guill (urbain, préparation d'un TàG). Le changement de voie sur voies rapides sera analysé dans le cadre de l'insertion sur le périphérique.

A - ChV_dir_7Chemins

Infrastructure : Cette infrastructure se situe dans une zone que nous qualifions de rurale (hors agglomération) où la vitesse est donc limitée à 90 km/h. Les participants arrivent alors à cet endroit par une partie courbée à droite (en bas à droite de la vue plan, figure 75). Dans cette portion droite, les participants doivent repérer la direction à suivre à l'aide des panneaux et effectuer un ChV de la voie de droite à la voie centrale pour suivre une trajectoire est-ouest. Des véhicules sont susceptibles d'arriver de l'ouest pour traverser cette infrastructure selon l'axe ouest-est. Les panneaux directionnels sont situés à 250 mètres de la fin des marquages pointillés permettant le changement de voie.

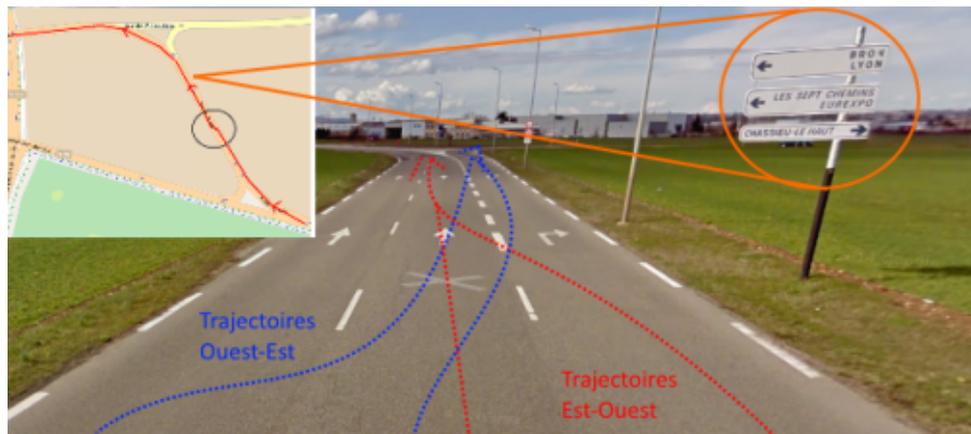


FIGURE 75 – Vue conducteur et plan de ChV_dir_7Chemins

Tâche prescrite : À l'approche de la partie courbée à droite, la monitrice donne la consigne suivante « *suivre la direction les sept chemins* ».

Résultats : Dans cette infrastructure, il est très clair que la difficulté de la manœuvre est directement liée à la présence de trafic. En effet, dans une circulation fluide, la seule difficulté consiste à repérer le panneau de direction et effectuer un changement de voie. La mauvaise lisibilité des panneaux à fond blanc et texte noir nous a régulièrement été rapportée par les participants. La monitrice a en effet indiqué qu'il fallait se positionner sur la voie centrale à 9 conducteurs qui n'avaient pas identifié la direction à suivre. Pour 3 autres (Eld08, Eld53 et Eld75), c'est un double changement de voie pour se placer sur la voie de gauche qui a entraîné une recommandation verbale de type « *placez-vous voie du centre* ». Durant l'entretien, ces conducteurs nous ont indiqué que la flèche orientée sur la gauche les avait induit en erreur. Nous comptabilisons également 3 cas dans lesquels le ChV s'est produit de façon tardive, à proximité de la fin de la ligne discontinue (Eld19, Eld23 et Eld73), là encore en lien avec la difficulté à

identifier la direction à suivre. D'une manière générale, les conducteurs ont exprimé que dans ce type de configuration, un navigateur embarqué qui les informe en amont de la nécessité de changer de voie serait très utile. Concernant le signalement de l'intention de changer de voie, deux conducteurs n'ont pas actionné leur clignotant (Eld05 et Eld15), ce qui constitue en soi une erreur au regard du code de la route. En termes d'interaction avec le trafic, les cas que nous avons observés dans cette infrastructure concernent principalement les véhicules arrières. Nous avons identifié 2 cas dans lesquels nos conducteurs ont « forcé le passage » (Eld42, Eld67). Pour ces deux conducteurs, il était tout à fait envisageable de ralentir pour changer de voie en sécurité derrière ces véhicules, puisqu'il n'y avait pas d'autres véhicules en approche. Dans deux autres cas, une hésitation à se placer a été notée par la monitrice (Eld39 et Eld52). Pour Eld52, le conducteur a attendu d'être certain que le véhicule arrière le laissait s'engager avant de changer de voie. Concernant le séquençement global de la manœuvre, nous avons identifié 2 cas (Eld44 et Eld63). Dans ces deux cas, les conductrices sont en attente du panneau pour connaître la direction à suivre. Dès qu'elles possèdent l'information, le signalement à l'aide du clignotant et la vérification visuelle sont concomitantes avec l'engagement dans la voie de gauche. Pour Eld44, la circulation était fluide, mais plusieurs véhicules ont régulé leur vitesse et position dans l'infrastructure lors de l'engagement de Eld63. Enfin, deux participants n'ont pas effectué de changement de voie dans cette infrastructure car ils circulaient déjà voie du centre pour cause de travaux sur la voie de droite (le ChV s'est fait en amont).

B - ChV_guill

Infrastructure : Les participants circulent sur une deux fois 2 voies en milieu urbain depuis la sortie du Rp_7Chemins. Ils traversent deux intersections à feux tricolores dans lesquelles ils ne changent pas de direction. La rue dans laquelle ils doivent effectuer un TàG se trouve à l'extrémité de cette longue ligne droite. Comme le montre la figure 76, la manœuvre de changement de voie peut avoir lieu dans une large zone de près d'un kilomètre. Comme nous l'avons indiqué pour les TàG_Poudrette, l'axe sur lequel nous circulons (la route de Genas) est un axe important sur lequel il est fréquent de constater des vitesses supérieures à 50 km/h, et de trouver une densité de trafic non négligeable, ce qui peut compliquer la manœuvre de ChV.

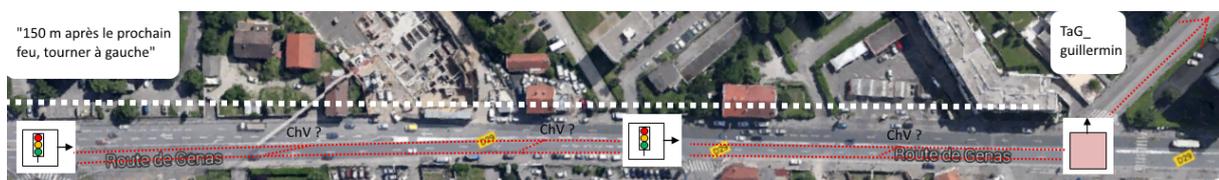


FIGURE 76 – Vue satellite de ChV_guill

Tâche prescrite : Après avoir traversé un carrefour à feux sans changer de direction la monitrice donne la consigne suivante « 150 mètres après le prochain feu, il faudra tourner à gauche ».

Résultats : Dans cette infrastructure, 9 conducteurs (4 Femmes et 5 Hommes) n'ont pas eu à changer de voie puisqu'ils circulaient déjà voie de gauche depuis le giratoire précédent. La majeure partie des conducteurs se sont placés voie de gauche avant le carrefour à feu (au centre de la figure 76). Un conducteur a effectué le changement de voie au niveau du carrefour à

feux, en présence d'un véhicule arrière voie de gauche (Eld38). Occupé à surveiller ce véhicule durant sa manœuvre, il a traversé l'intersection alors que le feu était orange sans s'en apercevoir (confirmé lors de l'entretien). Cette stratégie nous semble assez inadéquate dans la mesure où dans cette intersection, des véhicules en contresens peuvent effectuer un TàG, il peut donc y avoir interférence. Enfin, un conducteur a changé de voie au delà du carrefour à feu. Concernant la sélection d'un créneau d'insertion, on compte 2 cas d'hésitation à changer de voie en présence de trafic arrière (Eld66, Eld72), et un cas où le passage a été quelque peu forcé (Eld34). Nous ne disposons malheureusement pas de capteur permettant d'apprécier objectivement la distance qui sépare notre véhicule du véhicule devant lequel nous circulons, nous nous référons donc en général à l'avis de la monitrice pour ces cas. Dans les cas les plus nets, il est très clair à la vue de la vidéo que nous sommes proche d'un véhicule. Pour un autre cas, cela est plus objectif (Eld13_ChV_guill). Lors des premières consultations dans le rétroviseur gauche, le conducteur n'aperçoit pas de véhicule. Les consultations se rapprochent et sont de plus en plus courtes alors qu'un véhicule sombre arrive rapidement voie de gauche. Lorsque le conducteur s'engage sur la voie de gauche, le véhicule arrière donne un coup de klaxon.

6.9.5 Analyses de cas

Cas 1 : Double changement de voie avec négligence de vérification

La figure 77 présente un cas de chronique en situation de dépassement sur le périphérique d'un véhicule lent évoluant sur la voie du centre.

Dans ce scénario (environ 20 secondes), nous pouvons décrire les phases d'activité suivantes :

- Phase 1 : Le conducteur circule sur la voie de droite du périphérique et détecte devant lui un véhicule à allure réduite (cercle vert tirets visible sur l'image 1) sur la voie du centre. À cet instant, le conducteur décélère (visible sur les courbes 1 et 3) et hésite à dépasser par la droite (visible sur la courbe 2 qui montre que le volant reste orienté vers la droite, la route étant légèrement courbée à droite et complété par l'avis recueilli lors de l'entretien d'explicitation). Le conducteur contrôle également son rétroviseur gauche pour vérifier si un dépassement par double changement de file à gauche est possible. Une voiture arrive sur la voie centrale et un camion se situe plus loin derrière nous, sur la voie de droite.
- Phase 2 : Le camion qui nous suit s'est placé sur la voie centrale. Notre conducteur décide finalement de dépasser par la gauche. Il contrôle alors son rétroviseur gauche pour estimer la vitesse et la distance du camion, tout en se rapprochant de la gauche de sa voie (visible sur la quatrième courbe), et en maintenant sa vitesse stable (visible sur la courbe 3).
- Phase 3 : Notre conducteur manifeste alors son intention de changer de voie (activation du clignotant gauche et accélération (visible sur les courbes 5 et 3). Il contrôle à nouveau son rétroviseur gauche. Il engage son premier changement de voie (visible sur la courbe 4 qui présente un décrochement au niveau de la position latérale au repère T=1964, signe que le marquage de gauche a été franchi).
- Phase 4 : Notre conducteur finalise son entrée voie du centre et regarde vers l'avant pour gérer la distance qui le sépare du véhicule lent. Au même moment, un véhicule progressant à allure soutenue est démasqué à l'arrière, sur la voie de gauche (cercle rouge, pointillés

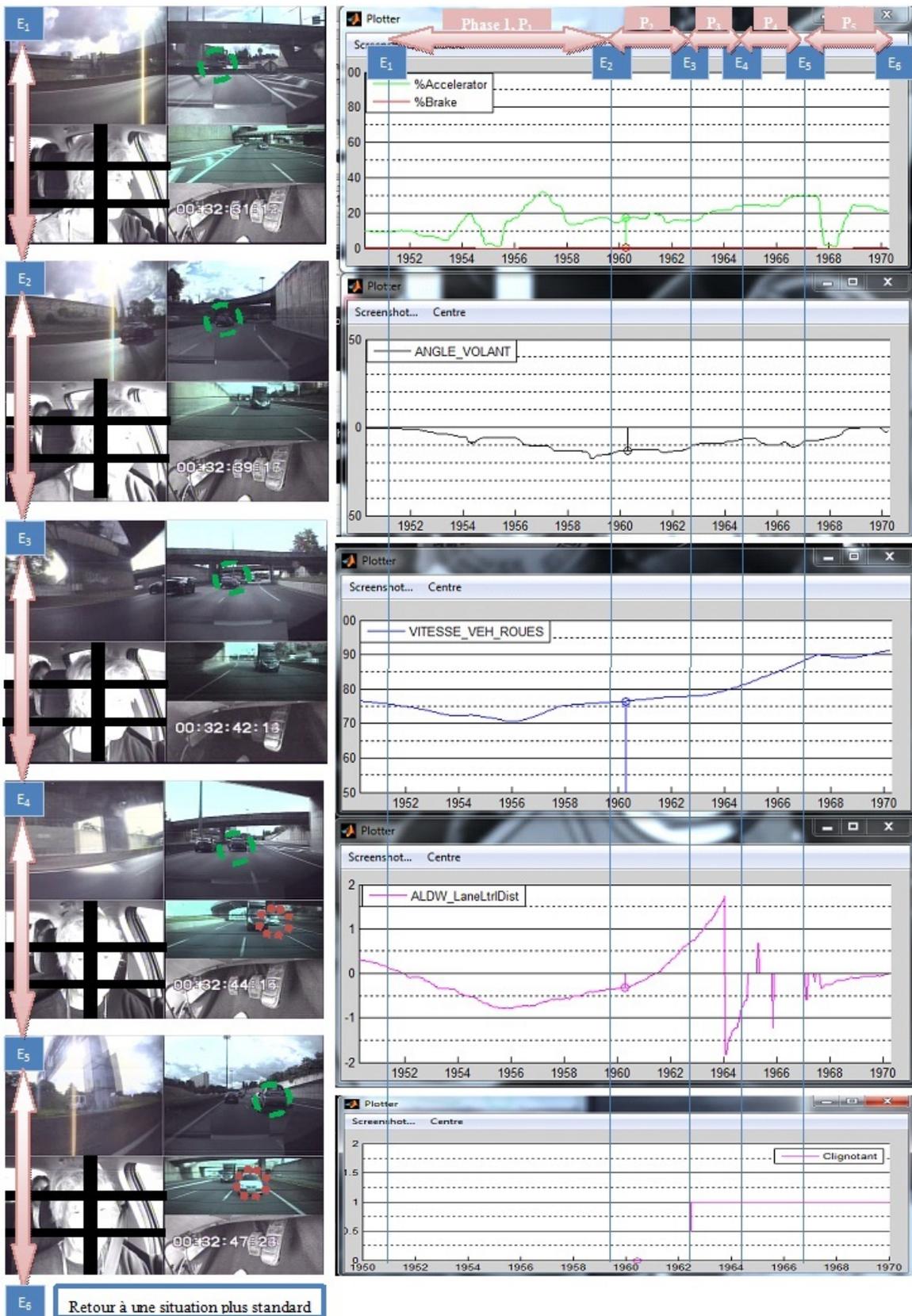


FIGURE 77 – Cas 1 : Double changement voie avec négligence de vérification

visible sur l'image 4). Ce véhicule n'est pas perçu par notre conducteur (non signalé par ce dernier lors de l'entretien d'explicitation, cf. paragraphe suivant). Notre conducteur accélère pour atteindre la vitesse maximale autorisée et se s'engage sur la voie de gauche afin de dépasser le véhicule lent (visible sur la courbe 3 et 4, même si le décrochement au repère T=1966 est moins marqué que le précédent du fait de marquages au sol moins bien détectés par le capteur). Notre conducteur est resté voie du centre environ 2 secondes.

- Phase 5 : Le participant est sur la voie de gauche (visible sur la courbe 4 qui montre une distance latérale proche de zéro, signe qu'il est quasiment au centre de la voie), sans avoir au préalable effectué un nouveau contrôle du rétroviseur gauche lors du second changement de voie. Il maintient une vitesse proche de 90 km/h pour finaliser le dépassement du véhicule aval. Le véhicule arrière, non détecté est alors très proche du véhicule du participant (image 5) et va alors devoir ralentir fortement pour maintenir une distance sécuritaire avec le véhicule de notre participant.

Concernant les jugements sur la situation, le participant a déclaré qu'il s'agissait, d'une situation de difficulté moyenne (60%), qu'il a parfaitement maîtrisé (100%), et ne présentant aucun danger (0% de criticité). Pour ce qui est de sa performance de conduite, il est catégorique quant au total respect du code de la route (100%) et l'absence totale de prise de risque (0%) ou d'erreur de sa part (0%). Au niveau de sa perception des éléments utiles et pertinents à la conduite, de sa compréhension de la situation et de sa prise de décision, le participant n'a absolument pas hésité à les juger parfaites (100%). Si l'on poursuit avec les ressentis au cours du scénario considéré, aucun stress, aucune surprise, peur ou quelque sentiment de gêne que ce soit, n'ont été ressentis de son côté (0%). Enfin, de façon globale, le participant s'est attribué une bonne note (18/20, soit 90%) et n'a pas exprimé le besoin d'être assisté dans cette situation. Au regard de l'ensemble de ces jugements d'auto-évaluation et du discours explicatif du participant, il apparaît clairement que le conducteur n'a pas eu conscience de la présence d'un véhicule (masqué au moment où il a effectué son dernier contrôle dans les rétroviseurs), arrivant derrière lui, à vive allure, sur la voie de gauche. On peut conclure ici à une conscience de la situation inadéquate (non détection du véhicule) ayant entraîné une situation critique résultant d'une prise de risque involontaire de la part de notre conducteur.

Cas 2 : Amorce de changement de voie en présence d'un obstacle sur la voie

Un cas particulier s'est présenté avec une camionnette qui souhaitait se stationner sur le trottoir (Eld23). Dans cette situation, notre conducteur suit une camionnette sur la voie de droite. Sachant qu'il doit changer de voie, il a déjà réalisé plusieurs contrôles visuels dans son rétroviseur. La camionnette ralentit nettement pour monter sur le trottoir. Notre conducteur ralentit et braque sur la gauche, en regardant dans son rétroviseur gauche. Sur la voie de gauche se trouve, à une vingtaine de mètre derrière lui, un véhicule noir. La monitrice intervient verbalement en indiquant qu'il faut patienter avant de changer de voie. Le conducteur est donc immobilisé sur la voie de droite avec la camionnette qui recule dans notre direction (pour finir de se garer à cheval sur le trottoir). Au moment où il souhaite s'engager, notre conducteur cale. Au final, le véhicule situé derrière lui aurait pu déboîter plusieurs fois. Pour cette manœuvre complexe, la monitrice lui attribuera la note de 8 en raison d'une gestion approximative de la situation.

Cas 3 : Négligence de contrôle de l'angle mort en présence de trafic

Chronique présentée en figure 78.

Vue 1 : La conductrice souhaite changer de voie sur la gauche en raison d'un véhicule qui s'insère plus loin devant elle.

Vue 2 : La conductrice vérifie son rétroviseur et se rapproche du marquage gauche.

Vue 3 : La monitrice a avertie « *Attention la moto* » (qui s'est placée voie du centre pour remonter entre les véhicule), et bloque le volant. La conductrice a donné un coup de frein au moment de l'avertissement de la monitrice.

Vue 4 : La conductrice empiétait déjà sur la voie de gauche au moment de la saisie du volant. 1,5 secondes plus tard, la moitié du véhicule est dans la voie de gauche.

Vue 5 : La conductrice est placée au centre de la voie de gauche.

Cas 4 : Estimation erronée de la marge de sécurité arrière

Chronique présentée figure 79

Vue 1 : Le conducteur a déjà activé son clignotant droit pour indiquer son intention de ChV à droite. On aperçoit une voiture derrière lui, sur la voie de droite.

Vue 2 : Le conducteur consulte son rétroviseur et détecte le véhicule.

Vue 3 : Alors qu'il a à nouveau consulté son rétroviseur, il engage son changement de voie (visible sur la dernière courbe qui présente un saut).

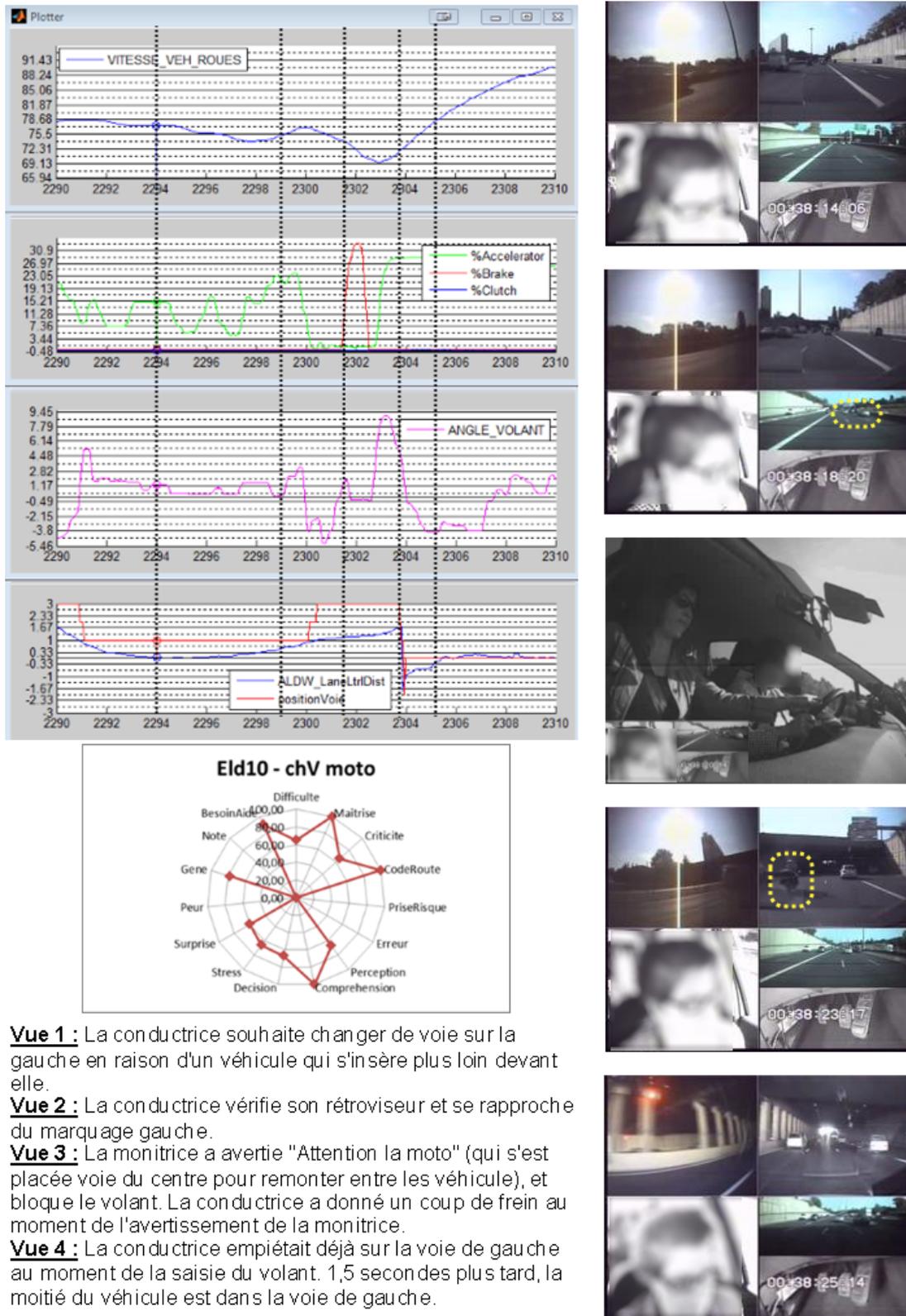
Vue 4 : Il se positionne au centre de la voie de droite tout en continuant de ralentir. Le véhicule qui le précède klaxonne. Notre conducteur hausse les sourcils comme étonné par ce coup de klaxon.

Vue 5 : Le conducteur est dans la nouvelle voie, il regarde son rétroviseur central pour vérifier où se trouve le véhicule.

6.9.6 Conclusion synthétique et perspectives

Les paramètres du véhicule et de l'environnement dont nous disposons nous permettent d'envisager des analyses fines telles que nous l'avons présenté dans les cas précédents. En revanche, il apparaît clairement que les stratégies visuelles sont, pour les changements de voie, de première importance. C'est pourquoi nous envisagerons, en priorité, de re-coder manuellement les stratégies visuelles pour certaines de ces situations, en vue du monitoring.

Concernant le temps inter-véhiculaire arrière, nous avons observé plusieurs situations qui exigeraient de disposer d'une mesure équivalente au TIV avant pour poursuivre les investigations. Une solution d'instrumentation est à l'étude dans pour une prochaine étape d'amélioration du véhicule instrumenté.



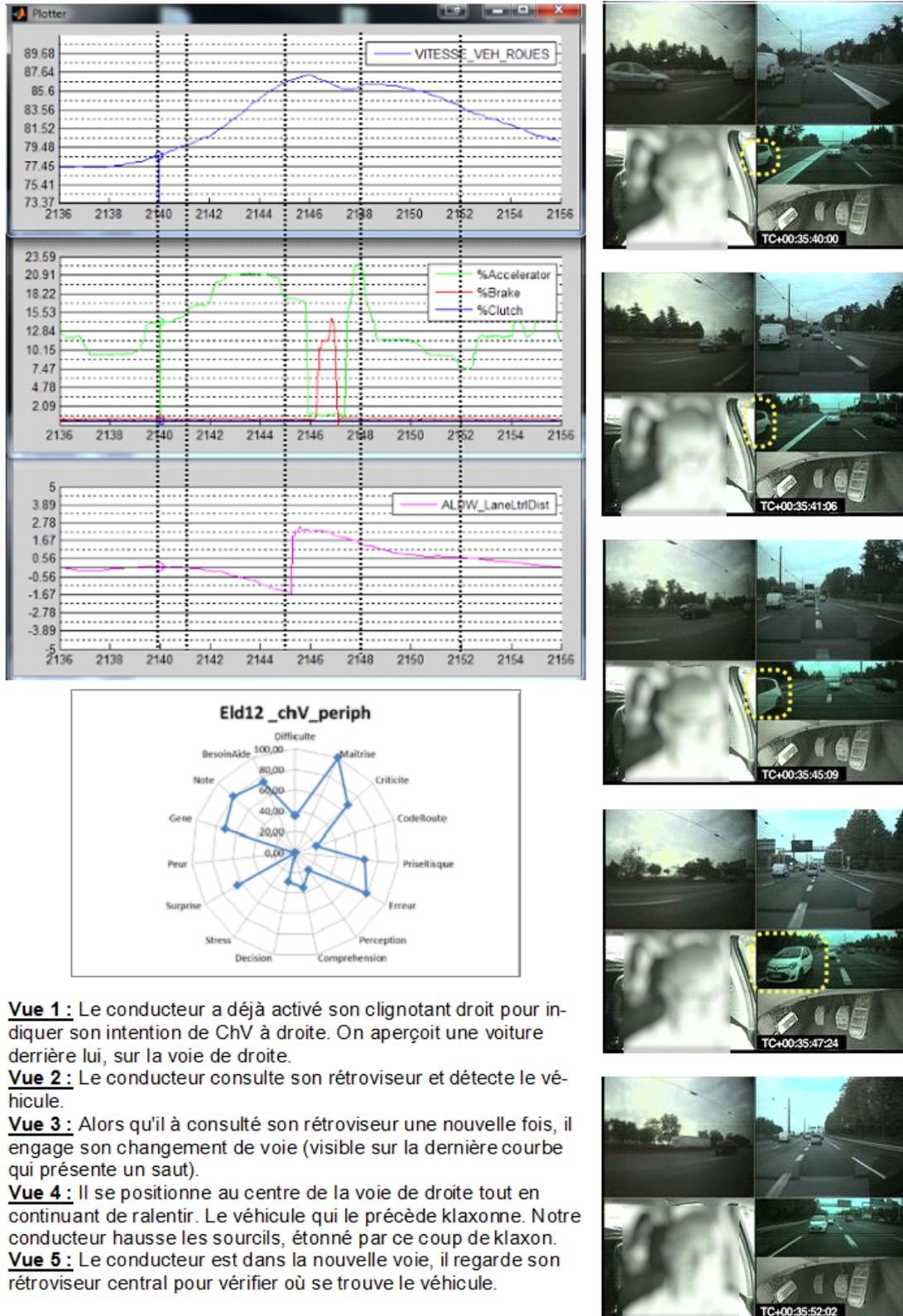
Vue 1 : La conductrice souhaite changer de voie sur la gauche en raison d'un véhicule qui s'insère plus loin devant elle.

Vue 2 : La conductrice vérifie son rétroviseur et se rapproche du marquage gauche.

Vue 3 : La monitrice a avertie "Attention la moto" (qui s'est placée voie du centre pour remonter entre les véhicule), et bloque le volant. La conductrice a donné un coup de frein au moment de l'avertissement de la monitrice.

Vue 4 : La conductrice empiétait déjà sur la voie de gauche au moment de la saisie du volant. 1,5 secondes plus tard, la moitié du véhicule est dans la voie de gauche.

FIGURE 78 – Cas 3 : Changement de voie sans contrôle de l'angle mort en présence d'une moto



Vue 1 : Le conducteur a déjà activé son clignotant droit pour indiquer son intention de ChV à droite. On aperçoit une voiture derrière lui, sur la voie de droite.

Vue 2 : Le conducteur consulte son rétroviseur et détecte le véhicule.

Vue 3 : Alors qu'il à consulté son rétroviseur une nouvelle fois, il engage son changement de voie (visible sur la dernière courbe qui présente un saut).

Vue 4 : Il se positionne au centre de la voie de droite tout en continuant de ralentir. Le véhicule qui le précède klaxonne. Notre conducteur hausse les sourcils, étonné par ce coup de klaxon.

Vue 5 : Le conducteur est dans la nouvelle voie, il regarde son rétroviseur central pour vérifier où se trouve le véhicule.

FIGURE 79 – Cas 4 : Mauvaise estimation de l'espace disponible, malgré plusieurs contrôles rétroviseur

6.10 Les insertions sur voies rapides

Les phases d'insertions incluent une manœuvre de changement de voie (et ses exigences) à la dynamique temporelle très contrainte du fait d'une zone géographiquement limitée dans laquelle ce changement de voie doit être réalisé.

6.10.1 Tâche d'insertion sur voies rapides

Nous proposons un schéma tactique d'insertion sur voie rapide instancié à l'insertion décrite en figure 80 pour décomposer cette manœuvre en 5 phases d'activité permettant de passer de la voie initiale (V1) à la voie finale (V2). Nous distinguons d'abord la phase de *Préparation* pendant laquelle le conducteur cherche un créneau d'insertion en préparation de son changement de voie. Il doit dans le même temps accélérer pour atteindre une vitesse en adéquation avec celle du flux de circulation dans lequel il souhaite s'insérer. Vient ensuite la phase de *Décision* au cours de laquelle le conducteur juge qu'un créneau d'insertion (Gap) est suffisant et il prend la décision de changer de voie. Dans cette phase, il doit donc actionner son clignotant pour indiquer son intention de changer de voie. Vient ensuite la phase de changement de voie à proprement parlé qui consiste à se rapprocher du marquage au sol de gauche, qu'il va d'abord chevaucher (voie *mordue*) puis franchir (voie *coupée* dès que sa roue avant se trouve dans la voie située sur sa gauche). Dans un temps variable en fonction de sa vitesse, le véhicule doit enfin être positionné intégralement dans la voie de droite du périphérique (V2), qui correspond au moment où ses roues droites ont intégralement traversé le marquage au sol. La dernière phase correspond à une tâche de conduite nominale sur le périphérique.

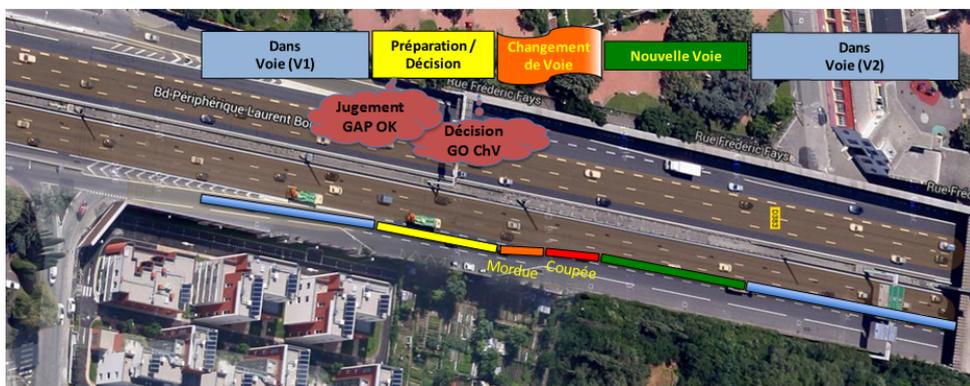


FIGURE 80 – Schéma tactique pour l'insertion 1 du parcours

6.10.2 Question de recherche

L'insertion sur voies rapides nécessite d'estimer la vitesse du flux de circulation afin de s'y insérer en sécurité. Nous avons notamment rapporté que la circulation sur voies rapides était parfois évitée par les conducteurs âgés, ce qui pourrait sous entendre que les phases d'insertions sont plus difficiles pour eux. La vitesse de circulation sur ces tronçons ainsi que les infrastructures à plusieurs voies de circulations peuvent également contribuer à cette stratégie d'évitement. Les contraintes temporelles sont plus fortes que dans le cadre d'un changement de voie standard puisque la portion qui permet de s'insérer possède une longueur limitée qui oblige à atteindre

une vitesse en accord avec le flux, tout en identifiant un créneau d'insertion. Par conséquent, la séquence de vérification, signalement, manœuvre se doit d'être appropriée pour éviter tout risque d'interférence avec les véhicules qui circulent sur les voies. Il s'agira donc de s'intéresser à cette séquence.

6.10.3 Matériau disponible

6.10.3.1 Insertions du parcours

Le parcours expérimental comporte 2 manœuvres d'insertion sur le périphérique lyonnais, s'effectuant sur la gauche. La première est une insertion typique dans laquelle la bretelle d'insertion est une portion de ligne droite de plusieurs centaines de mètres, qui permet de s'insérer sur une section du périphérique comportant 3 voies. À cet endroit, les véhicules arrivent lancés à une vitesse proche de 90 km/h. La seconde est quant à elle plus atypique avec une bretelle d'insertion qui se situe en virage. La vitesse du trafic y est également plus faible du fait de la courbure et d'une limitation à 50 km/h en amont de la zone où nos participants s'inséraient. Enfin, la longueur de cette voie d'insertion est d'une petite centaine de mètre.

6.10.3.2 Vue d'ensemble des observations en Insertions

La figure 81 donne une vision synthétique des observations de la monitrice et des jugements des participants pour les Insertions systématiquement évalués par notre experte et nos conducteurs.

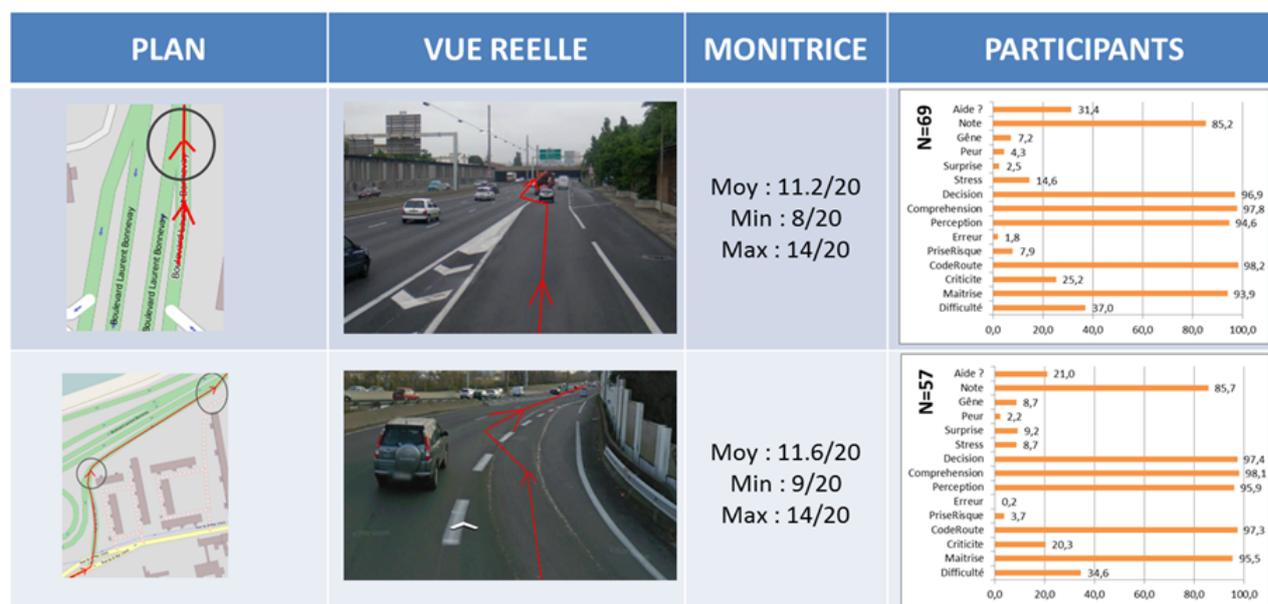


FIGURE 81 – Vue d'ensemble des observations en Insertions

Ce tableau indique, dans la colonne la plus à droite, le nombre d'auto-confrontations effectivement réalisées pour l'infrastructure considérée. Comme nous l'avons indiqué, nous avons régulièrement privilégié d'autres situations durant l'auto-confrontation dès lors que les participants nous indiquaient qu'il n'y avait rien à signaler pour cette situation.

On voit à travers cette vue d'ensemble qu'il y a une certaine homogénéité dans les évaluations moyennes réalisées par la monitrice, ainsi que pour les auto-évaluations des conducteurs.

6.10.4 Analyse des difficultés et des erreurs

6.10.4.1 Évaluation de la monitrice

Les remarques fréquemment rapportées par la monitrice sont présentées tableau 31.

TABLEAU 31 – Remarques monitrice pour les manœuvres d'Insertionss

Type remarque	Fréquence
Absence de vérification de l'angle mort	+++
Vitesse jugée trop basse au moment de l'insertion	++
Stress important constaté	+
Distance de sécurité avec le véhicule qui précède	+
Distance de sécurité avec le véhicule qui arrive	+
dont ralentissement net de la circulation	+
Difficulté à identifier un créneau d'insertion	+

6.10.4.2 Classification des situations-problèmes

Nous avons identifié **9 situations-problèmes manifestes en Insertions** (8 correspondantes au parcours habituel et 1 hors du parcours lors d'un détour), dont une classification est présentée dans le tableau 32.

TABLEAU 32 – Classification des situations-problèmes en Insertion

Type de difficulté / erreur en Insertions	Nb
Lenteur excessive	3
Atteinte de l'extrémité de la voie d'insertion	2
Force le passage	2
Distance de sécurité avant trop courte	1
Coup de volant pour se raviser	1
TOTAL	9

Dans l'ensemble la vitesse pratiquée par certains participants s'est avérée relativement basse en regard de la vitesse pratiquée par les autres conducteurs qui circulent sur le périphérique. On note une lenteur jugée excessive pour 3 cas dont le **Cas 1 analysé ci-après**.

Deux conductrices ont eu des difficultés pour s'insérer du fait de la circulation, arrivant en butée de voie d'insertion (**Cas 2 ci-après**). Dans le second cas (Eld68), un camion se présente légèrement en avance sur notre conductrice au niveau de la voie d'insertion (très courte à cet endroit) qui a décéléré pour s'insérer sur sa lancée. Cependant, une voiture qui suivait le camion l'amène à se raviser, se retrouvant sur le zébra situé à gauche de la route à une vitesse très basse.

On compte deux cas pour lesquels la monitrice a jugé que les conducteurs avaient forcé le passage en s'insérant dans un créneau relativement court, sans accélérer suffisamment.

On compte un cas d'insertion avec une distance de sécurité avant très courte.

Enfin, les difficultés à maintenir une position correcte dans la voie tout en recherchant un créneau d'insertion a été identifié pour quelques participants. Parmi ces cas, nous relevons celui qui correspond à un coup de volant dans le but de se raviser (Eld44) suite à une mauvaise appréciation du créneau d'insertion disponible.

Sans disposer de données chiffrées à ce sujet, nous avons observé une vingtaine de situations d'insertions dans lesquelles les véhicules situés derrière nos participants se sont insérés avant eux, que ce soit du fait d'une vitesse trop basse, ou d'une trop grande hésitation quant aux créneaux d'insertions disponibles.

6.10.4.3 Analyse détaillée d'une Insertion du parcours

Pour son caractère plus typique d'une insertion sur voie rapide, nous choisissons d'utiliser comme cadre de référence l'Insertion 1.

Infrastructure : Dans cette infrastructure, les participants arrivent d'une intersection non prioritaire donnant accès à la bretelle d'insertion sur le périphérique. Le périphérique compte à cet endroit 3 voies de circulation, et la voie d'insertion par laquelle accèdent nos participants dessert également une sortie située plusieurs centaines de mètres plus loin. On voit également sur la vue satellite présentée figure 82 qu'un arrêt de bus est situé sur la droite de notre voie (une ligne de bus empruntant cet axe pour rejoindre la sortie située à l'extrémité de la bretelle).



FIGURE 82 – Vue satellite de l'insertion 1

Tâche prescrite : Dès le franchissement du cédez-le-passage précédent, la monitrice donne la consigne suivante : « *insérez-vous sur le périphérique, direction Paris* ». La direction de Paris est indiquée par un panneau couvrant la largeur des 3 voies, comme on le voit figure 82.

Résultats : Cas d'insertions entropiques

Le conducteur (Eld15) va s'insérer devant une camionnette qui va freiner après son insertion sur la voie du périphérique.

La conductrice (Eld44) roule lentement et la camionnette qui la suit va s'insérer avant elle et interagir dans sa décision de s'insérer. La conductrice s'est ravisée (coup de volant).

Lorsque le conducteur (Eld5) se présente dans cette infrastructure, il y a peu de circulation. La monitrice nous dira que sa manœuvre était correcte (elle attribue la note de 11/20) mais que la vitesse au moment de l'insertion était trop faible (environ 57 km/h).

Le conducteur (Eld23) circule à une vitesse légèrement inférieure à 40 km/h lorsqu'il entre sur le périphérique. Il est suivi par une voiture qui ne va pas le dépasser alors qu'il décélère nettement (jusqu'à 31 km/h) dans la phase où il cherche un créneau d'insertion. On peut donc dire que le véhicule suiveur a facilité l'insertion de notre conducteur.

Le conducteur (Eld06) force le passage devant un véhicule rouge. La monitrice attribue une note de 9/20 pour cette manœuvre en jugeant que le créneau d'insertion est trop court.

6.10.5 Analyses de cas

Cas 1 : Insertion chaotique perturbant la circulation

Nous proposons une chronique de ce cas (figure 84). Lorsque le conducteur arrive dans cette infrastructure, la densité de trafic sur le périphérique est assez importante. Alors qu'il cherche un créneau d'insertion, le conducteur ralentit fortement. Il est dépassé par les véhicules qui se situent derrière lui et qui décident de s'insérer avant lui. Après plusieurs secondes, un véhicule circulant sur la voie de droite va ralentir afin de le laisser s'insérer. Sa vitesse au moment où il coupe la voie d'insertion est de 28 km/h. Au vu de la situation, il est clair que ce conducteur a généré une entropie importante dans le flux de circulation qui évolue, à cet endroit, à des vitesses proche des 90 km/h (et même au-delà pour certains).

Cas 2 : Insertion difficile et risque à l'avant

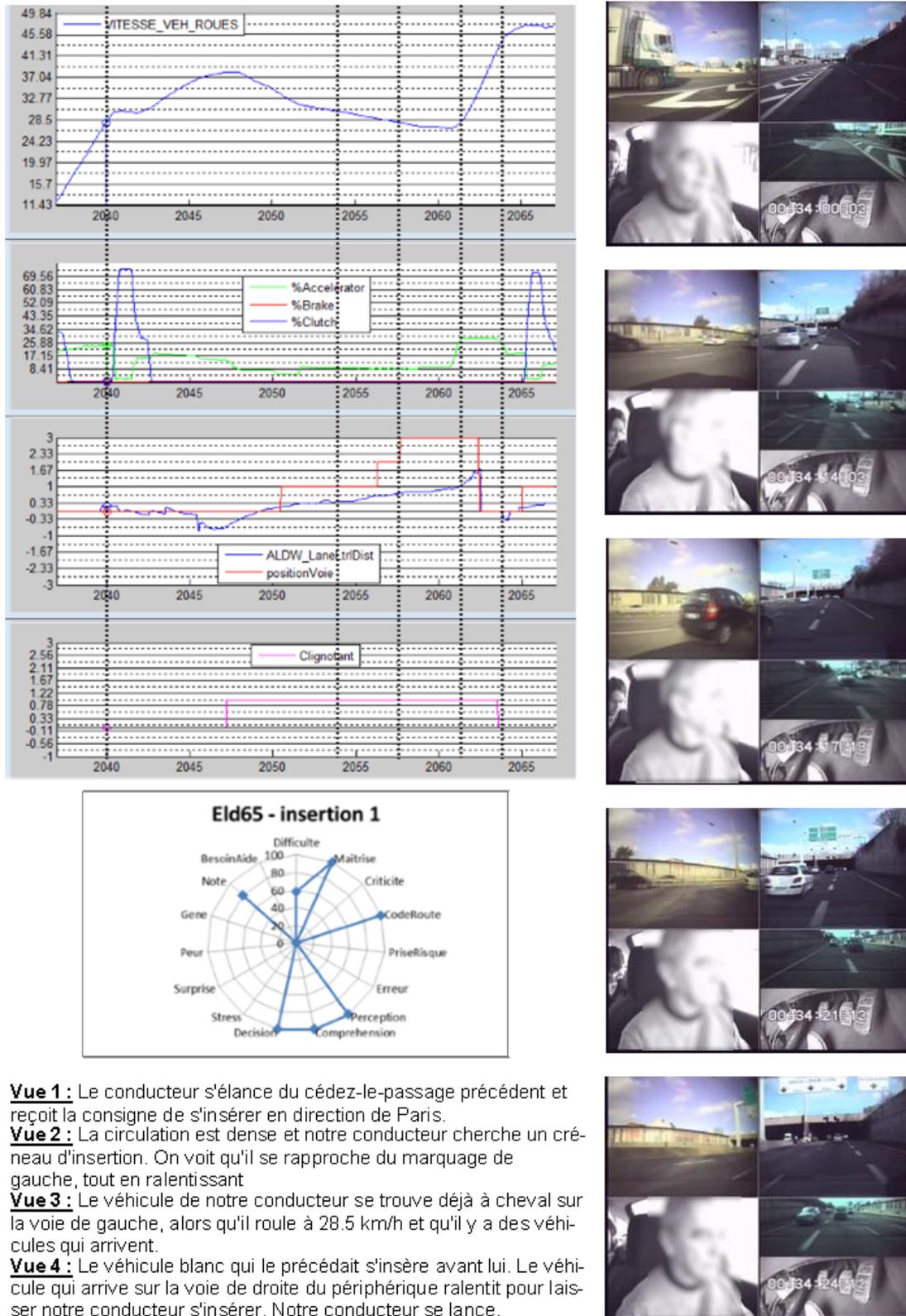
La conductrice (Eld72), regarde dans son rétroviseur gauche pour s'insérer après un camion qui roule sur la voie visée. Le conducteur qui la précède sur la voie d'insertion décide de déboîter avant elle, ce qui provoque une hésitation à s'insérer, alors qu'elle se rapproche de l'extrémité de la voie d'insertion, et du muret de protection situé à droite (figure 83).



FIGURE 83 – Cas d'insertion difficile

6.10.6 Conclusion synthétique et perspectives

L'insertion est une phase qui s'est révélée maîtrisée de façon approximative par une part conséquente de nos conducteurs, d'autant plus que la circulation était dense au moment de leur passage. Il s'agit d'une séquence d'activité complexe qui exige la coordination de plusieurs tâches, ce qui en fait un excellent candidat pour le monitoring. Cependant, les stratégies visuelles sont absolument primordiales pour analyser l'activité de nos conducteurs dans cette phase particulière. Nous avons ainsi re-codé manuellement les stratégies visuelles de 75 participants (un participant exclu pour cause de détour) pour toute cette phase afin d'en proposer une analyse plus détaillée dans le chapitre final de ce manuscrit.



Vue 1 : Le conducteur s'élançe du cédez-le-passage précédent et reçoit la consigne de s'insérer en direction de Paris.
Vue 2 : La circulation est dense et notre conducteur cherche un créneau d'insertion. On voit qu'il se rapproche du marquage de gauche, tout en ralentissant
Vue 3 : Le véhicule de notre conducteur se trouve déjà à cheval sur la voie de gauche, alors qu'il roule à 28.5 km/h et qu'il y a des véhicules qui arrivent.
Vue 4 : Le véhicule blanc qui le précédait s'insère avant lui. Le véhicule qui arrive sur la voie de droite du périphérique ralentit pour laisser notre conducteur s'insérer. Notre conducteur se lance.

FIGURE 84 – Chronique Eld65 _Insertion 1

6.11 Discussion des résultats et spécifications pour le monitoring

Dans ce chapitre, nous avons rendu compte des observations de l'activité de conduite de 76 conducteurs âgés sur un parcours expérimental identique, réalisé au moyen d'un véhicule instrumenté, en compagnie d'une monitrice auto-école. Nous avons présenté les résultats en 3 grands ensembles que sont les franchissements d'intersections (TàG, rond-point et autres intersections non prioritaires), les tâches primaires de la conduite (contrôle et régulation de sa vitesse, gestion de l'espace inter-véhiculaire et gestion de sa position dans la voie) et enfin les manœuvres de changements de voie, parmi lesquelles nous avons isolé les insertions. L'enjeu de cette discussion est de fournir une vue d'ensemble synthétique concernant l'importante quantité de données expérimentales recueillies dans le cadre de ces observations avant de croiser ces différentes connaissances en vue du monitoring pour l'assistance à la conduite des conducteurs âgés.

6.11.1 Discussion concernant les erreurs

Pour débiter, à partir des observations décrites dans les différentes sections de ce chapitre, ainsi que d'un ensemble complémentaire de cas non présentés dans ce chapitre, les infrastructures ou manœuvres se révélant les plus à risques, difficiles ou sources d'erreur pour nos participants ont été identifiées pour chaque contexte routier du parcours (figure 85).

Urbain	155	58%	Toutes situations (N=265) - parts des effectifs en %
Intersections	82	31%	
Ronds-points	24	9%	
Zone basse vitesse aménagée	14	5%	
Feux tricolores	8	3%	
Interactions autres usagers	9	3%	
Interactions bus	8	3%	
Changements de voies	7	3%	
Autres	3	1%	
Périphérique / Voies rapides	65	25%	
Changements de voies	14	5%	
Zone d'interactions	12	5%	
Sorties	10	4%	
Dépassement	10	4%	
Insertions	7	3%	
Situations critiques	5	2%	
Autres	7	3%	
Péri-urbain	45	17%	
Feux tricolores	15	6%	
Changements de voies	16	6%	
Intersections	9	3%	
Autres	5	2%	

FIGURE 85 – Contextes de survenue de difficultés ou erreurs de conduite

En milieu urbain (155 cas recensés, soit 58% du total), le franchissement d'intersections, dans des carrefours prioritaires ou non, représente plus de la moitié des situations identifiées pour ce contexte routier, et 1/3 du total des situations recensées. Cet ensemble regroupe des cas typiques dans lesquels l'interprétation des règles de priorité était incomplète, voire erronée, une stratégie de positionnement inadaptée, ou encore la décision de s'engager jugée à risque (notamment dans les 43 situations de tourner-à-gauche comptabilisées). On dénombre également 4 cas de heurt du trottoir dans des manœuvres de tourner-à-droite. Le franchissement de ronds-points d'envergures variables, présente également une situation particulièrement représentée avec près 9% du total des situations identifiées comme « à difficulté ». Cela provient en général d'interactions mal maîtrisées avec le trafic environnant au cours de la tâche de suivi de direction. La zone comprenant un radar pédagogique et des aménagements visant à contenir la vitesse des usagers s'est également révélée complexe pour une partie de nos conducteurs avec plusieurs constats de défauts de maîtrise dans la trajectoire du véhicule, notamment avec des heurts de plots situés au centre de la chaussée. Dans des proportions comparables, on trouve également les situations d'approche sur un feu tricolore et d'interaction avec d'autres usagers (notamment les piétons). Ces situations relèvent typiquement d'un défaut de perception (inexistante, incomplète ou tardive) ou, de façon moindre d'une prise de risque volontaire et délibérée du participant (ces interprétations émanent des éléments apportés par l'entretien d'explicitation durant lequel les situations ont été longuement détaillées avec les participants). Nous avons aussi isolé les situations d'interactions avec des bus, qui ont engendré des dépassements jugés risqués, ou au contraire une hésitation à dépasser chez les conducteurs les moins à l'aise. Enfin, l'ensemble « Autres » regroupe notamment un cas d'arrivée sur une zone de travaux et un autre de mauvaise adaptation aux variations de limitations de vitesse dans une zone variant plusieurs fois de 30 à 50km/h.

Sur voies rapides (65 cas recensés), on dénombre près d'un quart des situations identifiées. De façon synthétique, il s'agit en général de situations où l'interaction avec le trafic avoisinant est forte, à savoir les phases d'insertion et de changements de voies pour le suivi de direction ou de dépassement, ainsi que le passage à proximité de zones d'interactions telles que les entrées de flux. Ces phases d'activités couvrent près de 70% des situations identifiées sur voies rapides et nécessitent une bonne conscience de la situation courante, ce qui n'était pas toujours le cas pour nos conducteurs. Dans les 30% restant, on trouve les situations de sortie de périphérique qui ont posé des difficultés avec par exemple la confusion d'un refuge d'arrêt d'urgence avec la sortie à emprunter, avec des degrés de persévérance dans l'erreur variable parmi nos conducteurs. De plus, 5 situations considérées comme critiques sont répertoriées, elles correspondent à des configurations de presque accidents en aval de notre position et ont nécessité des réactions de la part de nos participants et pour lesquelles la régulation n'était pas optimale. Enfin, la catégorie « Autres » comporte des situations de vitesse pratiquée inadaptée, notamment supérieure à la limite autorisée. Un recensement des situations où nos conducteurs ont adopté une allure trop lente au regard de la circulation est également en cours. Cela peut en effet refléter une forme de difficulté de conduite voire un risque en termes d'interactions avec les autres conducteurs.

Dans le contexte qualifié de péri-urbain sur notre parcours, on dénombre 45 situations (soit 17% du total recensé). Il s'agit notamment de scénarios d'approche de feux tricolores (15 cas), qui n'ont pas été détectés alors qu'ils étaient rouges (7 cas, imposant une intervention de la monitrice), ou qui passaient à l'orange, contraignant les conducteurs à prendre la décision de s'arrêter ou de passer (8 cas). On trouve également des manœuvres de changements de voie problématiques (16

6.11. Discussion des résultats et spécifications pour le monitoring

cas), survenant soit en ligne droite (notamment en raison de travaux sur la voie), soit en sortie virage (par exemple, en fin de bretelle de liaison, infrastructure offrant peu de temps pour prendre les informations et changer de voie). Enfin, les difficultés rencontrées en intersections identifiées en milieu extra-urbain, renvoient fréquemment à une mauvaise compréhension de l'infrastructure (quitte à vouloir s'engager à contresens). Dans ce contexte également (catégorie « Autres »), quelques cas de vitesse trop élevée par rapport à l'infrastructure (approche trop rapide d'un feu masqué par la déclivité de la route), ou encore un cas de défaut de maintien du véhicule dans la voie sur une portion courbe, limitée à 90 km/h, interférant avec d'autres usagers qui souhaitent dépasser.

6.11.2 Discussion concernant les interventions de la monitrice

Puisque notre démarche s'inscrit dans une logique de diagnostic de difficultés ou d'erreurs de conduite, les interventions de la monitrice sont de première importance. Cette experte de la conduite a diagnostiqué, dans certaines configurations, des difficultés ou des risques potentiels pour lesquelles elle a émis une recommandation, une alerte, ou est intervenue directement sur les commandes, pour corriger la trajectoire du véhicule, voire le stopper. **Le moniteur humain est donc un référentiel intéressant pour nos travaux.** En effet, la monitrice auto-école était présente au côté des participants pour les guider d'une part, mais également pour leur venir en aide en cas de sollicitation de la part du participant. Dans d'autres cas, c'est la confrontation du comportement du conducteur dans une situation donnée qui a exigé son intervention, de sa propre initiative (verbale ou par action sur les commandes). Verbalement d'abord, cela pouvait consister en une simple confirmation à une question du participant ou en une recommandation lorsque le participant était confronté à une difficulté locale (ex. « *vous êtes en troisième* » indiqué à une personne qui a une difficulté à manipuler la boîte de vitesses) ou pouvait améliorer sa conduite (ex. temporalité du signallement). À un niveau plus critique, une alerte de type « *attention à ce véhicule* » ou « *nous allons freiner* » a pu être émise par la monitrice. Dans le cas où l'alerte verbale ne provoquait pas de réaction suffisante de la part du conducteur, ou si la dynamique de la situation l'exigeait, une intervention sur les commandes était effectuée. Dans certains autres cas, plus difficiles à identifier, la monitrice manifeste un geste (de la main en direction du volant, ou de son pied en direction d'une pédale), signe d'une situation potentiellement à risque en fonction de ce que va décider de faire le conducteur. On identifiera ces gestes comme des quasi-interventions. Bien évidemment ces situations remplissent également les critères de la catégorie précédente mais nous souhaitons les distinguer puisqu'elles comportent **un marqueur objectif de difficulté ou d'erreur engendrant une criticité situationnelle**. Le tableau 33 présente les **97 interventions de la monitrice** répertoriées à ce jour et classées en fonction des différentes modalités d'interaction moniteur-conducteur, allant de la simple information à l'alerte et jusqu'à une intervention directement sur les commandes.

TABLEAU 33 – Bilan des interventions de la monitrice

Types d'interventions	Situation de conduite	Nb	Nb participants
Information - navigation	rond-point	1	1
total : 4	suivi direction	3	3
Information - infrastructure	lecture de l'infrastructure	8	5
total : 16	travaux	7	7
	feu vert	1	1
Information - priorité	intersection prioritaire	2	2
total : 3	rond point	1	1
Information - autrui	ChV - « <i>Il vous laisse passer</i> »	1	1
total : 2	Intersection - « <i>Il est arrêté</i> »	1	1
Information - boîte de vitesse	ligne droite	2	2
total : 2			
Alerte - suivi trop proche	« <i>Dépasser</i> »	2	2
total : 2			
Alerte - infrastructure	sortie périphérique	3	3
total : 24	« <i>Radar</i> »	3	3
	trajectoire	1	1
	« <i>Feu rouge</i> »	7	7
	« <i>Ralentir</i> »	3	3
	« <i>Accélérer</i> »	1	1
	contresens	6	6
Alerte - règles de priorité	« <i>Non prioritaire</i> »	1	1
total : 1			
Alerte - autres usagers	ChV	3	3
total : 9	zone étroite	1	1
	rond-point	2	2
	« <i>Attention...</i> »	1	1
	zone interaction	1	1
	TàG - piéton	1	1
	amorce dépassement bus	1	1
Geste en direction du volant	rabattement	2	2
total : 5	interaction trafic	2	2
	trajectoire	1	1
Pied sur le frein	TàG	2	2
total : 9	intersection - gap latéral	1	1
	zone étroite	1	1
	cédez-le-passage	3	3
	rond-point (insertion)	1	1
	rond-point (sortie)	1	1
Intervention sur le frein	feu rouge	3	3
total : 10	cédez-le-passage	3	2
	priorité à droite étroite	2	2
	après calage	1	1
	TàG	1	1
Intervention sur le volant	ChV	5	3
total : 10	trajectoire	3	3
	erreur de navigation	1	1
	rabattement	1	1
	TOTAL : 97		

6.11.3 Discussion concernant les réactions d'autres usagers envers nos conducteurs

Nous avons également systématiquement répertorié les situations dans lesquelles un autre usager a réagi suite à une manœuvre d'un de nos participants. Il peut s'agir de manifestation d'humeur comme des appels de phare, de coups de klaxon, ou encore d'un dépassement agressif révélateur d'un agacement ou d'un comportement jugé inadapté par les autres usagers. Une vue d'ensemble de ces 26 réactions objectives est présentée dans le tableau 34.

TABLEAU 34 – Bilan des réactions manifestes d'autres usagers

Types de réaction	Situation de conduite	Nb	Nb participants
geste d'un piéton	sortie d'intersection	2	2
appels de phare	voies rapides, lenteur voie centrale	1	1
	créneau TàG	2	2
	cédez-le-passage TàD	1	1
	hésitation voie	1	1
coup de klaxon	Rond-Point - lenteur approche	3	3
	Rond-Point - lenteur anneau	2	2
	Rond-Point - trajectoire	2	2
	ChV urbain	1	1
	ChV péri-urbain	1	1
	ChV voies rapides	2	2
	urbain attente derrière bus	1	1
	bretelle circulaire - lenteur	1	1
	zone aménagée 30-50 - lenteur	1	1
klaxon + appels de phares	sortie de périphérique	1	1
klaxon + dépassement	Rond-Point - lenteur approche	2	2
dépassement agressif	zone 50	1	1
	suite à insertion	1	1
TOTAL		26	19

Parmi toutes ces réactions manifestes d'autrui, notons que quatre participants en ont reçu plusieurs durant les 45 minutes du parcours. Un conducteur (Eld42) a reçu 3 coups de klaxons, un autre (Eld47) à quant à lui été klaxonné et a reçu des appels de phares. Une conductrice a également été klaxonnée à 3 reprises (Eld26), dont une fois avant d'être dépassée de façon agressive par l'autre usager. Une autre (Eld69) a reçu des appels de phares du véhicule arrivant à contresens et devant lequel elle s'est engagée en TàG et s'est fait klaxonnée en freinant brusquement en approche d'un rond-point suite à un doute quant à la trajectoire d'un véhicule engagé dans l'anneau. Au final, 7 de nos conductrices ont fait l'objet d'une réaction manifeste d'autrui à leur égard contre 12 hommes.

À un niveau plus subjectif (car non quantifiable précisément), nous avons également identifié des situations dans lesquelles un ou plusieurs autres usagers ont appliqué une régulation de leur propre conduite du fait de la présence de nos conducteurs. Dans certains cas, ces réactions constituent un marqueur objectif d'une gestion imparfaite de la situation par nos conducteurs nécessitant une régulation de la part d'autrui. Dans d'autres cas, nous avons également observé plusieurs cas de *bienveillance* à l'égard de nos conducteurs, comme nous l'avons illustré pour le **Cas 1** présenté dans les insertions où le véhicule qui suit notre conducteur s'est placé sur la

voie en ralentissant, afin de faciliter son insertion. Ces manifestations positives à l'égard de nos conducteurs seniors feront l'objet d'analyses futures plus détaillées.

6.11.4 Discussion croisée concernant les situations-problèmes observées et analysées

Dans ce chapitre, les difficultés que nous avons rapportées l'ont été en regard de trois ensembles, constitués des franchissements d'intersections, du contrôle longitudinal et latéral du véhicule et des situations de changements de voies et d'insertions sur voies rapides. Nous proposons de synthétiser ces situations problèmes en reprenant cette segmentation en trois blocs.

Concernant le franchissement d'intersections, nous avons identifié un total de 50 situations-problèmes (16 en TàG, 14 en ronds-points et 20 dans les autres intersections). Nous avons déterminé que l'identification des zones de déplacement de l'infrastructure ainsi que la compréhension de son fonctionnement (règles de priorité) à partir desquelles un conducteur adapte ses stratégies d'approche (signalement de ses intentions, régulation de la vitesse, positionnement en position d'attente dans l'infrastructure) est un facteur problématique pour une part de ces situations. La gestion des interactions avec les autres usagers est un autre facteur de risque dans certains cas. La détection des autres véhicules et l'appréciation de leur dynamique pour la sélection d'un créneau d'insertion a posé problème dans plusieurs intersections, mais plus encore dans les TàG pour lesquels on observe 10 cas de risque élevé de collision, dont 2 cas ont nécessité l'intervention de la monitrice, et d'autres ont impliqué des régulations ou des réactions d'autrui en conséquence. Au vu de l'instrumentation dont nous disposons pour la collecte de données, ainsi que du volume de problèmes identifiés, les situations de **TàG feront l'objet d'une attention toute particulière dans le cadre du monitoring, principalement sous l'angle des stratégies de déplacement et de positionnement dans l'infrastructure d'une part, et sous l'angle du créneau d'insertion d'autre part.**

Concernant le contrôle de base du véhicule, nous avons confirmé la faible propension des conducteurs âgés à transgresser les limitations de vitesse en observant des données d'ensemble qui attestent d'un taux d'excès de vitesse contenu, d'autant plus que la limitation de vitesse est élevée. Nous avons néanmoins rapporté une difficulté exprimée par les participants concernant les doutes concernant la vitesse maximale autorisée sur un tronçon donné. Des analyses plus détaillées, par zone du parcours, devraient nous permettre d'isoler les lieux dans lesquels ces sur-vitesse involontaires se produisent. À l'opposé, nous avons également identifié 17 conducteurs ayant tendance à rouler à des vitesses basses sur les sections de voies rapides (rejoignant les commentaires généraux émis à ce sujet par la monitrice pour une quinzaine de conducteurs), présentant un risque entropique pour la circulation. Cette question de la **sous-vitesse sera donc également privilégiée dans le cadre du monitoring.** Disposant des mesures adaptées pour le diagnostic de la vitesse excessive, au moins quant à la vitesse maximale autorisée dans un premier temps, nous traiterons également cet aspect de **sur-vitesse via le monitoring.**

Pour la gestion du temps inter-véhiculaire, le paramètre dont nous disposons est d'une bonne fiabilité et les premières analyses présentées dans ce chapitre nous permettent d'esquisser les stratégies adoptées par les conducteurs âgés en termes temps de suivi. Nous avons par exemple identifié 9 conducteurs ayant une tendance globale à suivre de loin (plus de 3 secondes), 15 conducteurs qui sont de façon moyenne dans une gamme sécuritaire (entre 3 et 1,8 secondes) ainsi que 12 autres qui présentent quant à eux des taux de suivi à des distances trop courtes

(moins de 0,6 seconde) plus élevés que les autres. Ceci rejoint à nouveau les avis émis par la monitrice concernant 7 conducteurs ne respectant pas un intervalle de suivi sécuritaire à l'avant et les consignes de dépassement qu'elle a émises à deux participants qui suivaient des véhicules plus lents de trop près. Cette dimension de **gestion du temps inter-véhiculaire fera donc l'objet, à minima, d'une fonction de monitoring** dans le chapitre final.

Pour le contrôle latéral, nous avons identifié 18 cas de défaut de maîtrise de la trajectoire entraînant un heurt de trottoir ou le passage sur des éléments de l'infrastructure tels que des ilots. Par ailleurs, nous avons montré les possibilités que nous offre la solution de détection des marquages de voie pour la détection de situation de sortie de la voie. Ces informations ont été analysées sur voies rapides mais nous avons présenté d'autres exemples en milieu urbain et péri-urbain qui laissent présager une exploitation plus étendue de ce paramètre, bien que contrainte à une utilisation plus locale. La logique que nous avons présenté dans ce chapitre, consistant à isoler les chevauchements et les dépassements de ligne semble tout à fait exploitable. En revanche, il va s'agir de contextualiser ces défauts présumés afin de qualifier le risque qu'ils représentent (s'il existe). Nous intégrerons donc cette logique au **monitorage de la position dans la voie**, en sachant que la fonction devra être combinée à d'autres pour être réellement exploitée.

Les situations de changement de voies sont proportionnellement celles dans lesquelles nous avons observé le plus de situations problèmes avec un total de 46. Pour ces situations, nous ne disposons pas de mesure permettant d'apprécier la dynamique de trafic situé à l'arrière du véhicule. Cependant, nous avons montré l'importance du phasage de l'activité dans ces situations qui impliquent une séquence de *contrôles visuels-signalement-estimation du créneau* couplée au contrôle longitudinal et latéral du véhicule qui rend la tâche de conduite complexe et par conséquent potentiellement plus à risque. Parmi les cas que nous avons rapportés, les plus marquants se sont déroulés sur les sections de voies rapides, notamment si l'on inclue les phases d'insertions (9 situations) qui attestent d'une difficulté ou d'une erreur critique auxquelles nous ajoutons une quinzaine de cas dans lesquels les stratégies adoptées par nos conducteurs âgés se sont avérées potentiellement risquées. Nous envisageons, pour ces situations en priorité, de re-coder manuellement les stratégies visuelles des conducteurs, afin de pouvoir combiner les différentes fonctions de monitoring élémentaires que nous développerons pour aller vers une **fonction de monitoring plus intégrée, spécialement dédiée aux phases d'insertions et plus généralement aux séquences de changements de voie**.

À un niveau plus global, les analyses que nous avons réalisées ont permis d'identifier des groupes au sein de notre panel. Cela rejoint les situations-problèmes, les interventions de la monitrice ainsi que les réactions de la part des autres usagers, dont le nombre, le type et les contextes de survenues varient d'un participant à un autre. Il semblerait donc qu'une approche de profilage soit envisageable, par exemple en ayant recours à des algorithmes de *clustering* appliqués sur les sorties des analyses réalisées. Ce travail sera réalisé dans une prochaine étape sortant du cadre de cette thèse. Enfin, les données du questionnaire présenté aux participants en fin d'auto-confrontation n'ont pas été présentées dans ce chapitre. Les analyses que nous avons réalisées nous ont en effet permis de mettre en avant des points clés qu'il nous fallait étudier plus en détails auprès de nos conducteurs afin de mieux identifier les difficultés qu'ils expriment concernant la conduite, ainsi que les besoins et attentes qui sont les leurs en matière d'assistance à la conduite. Le chapitre suivant présente la méthodologie mise en place, prenant la forme de Focus Group, ainsi que les résultats obtenus et leur discussion en vue du monitoring.

Identification des difficultés, besoins et attentes via des Focus Group

Ce chapitre présente une synthèse des données et résultats issues de Focus Group centrés sur les difficultés de conduite et les attentes des conducteurs âgés en matière d'aides à la conduite. Les résultats des tests statistiques pour les comparaisons Homme Femmes sont donnés en **annexe F**. Comme nous en avons pris l'habitude, les résultats concernant les hommes seront présentés en bleu, et seront présentés en rouge pour les femmes. Les tracés oranges concerneront les valeurs moyennes collectées pour l'ensemble des participants (H et F) ayant pris part aux Focus Group (N=30).

Nous présentons d'abord la méthode et les données collectées. Les résultats sont ensuite présentés par thématiques pour une meilleure lisibilité. Une discussion finale clotûrera le chapitre, notamment en vue de l'exploitation des résultats pour la spécification ergonomique des besoins en assistance et des fonctions de monitoring.

7.1 Méthodologie

La méthodologie utilisée dans le cadre de cette recherche repose sur la constitution de Focus Groups (ou Groupes de Discussion). La méthode des Focus Group a été initialement développée aux États-Unis dans les années 40, dans le champ de la psychologie sociale (recherches sur la dynamique des groupes), avec l'objectif d'étudier des problématiques sociétales comme les attitudes, les opinions ou les représentations sociales, via l'animation de discussions interactives au sein de groupes appartenant à des populations ciblées. Elle est fréquemment utilisée dans la recherche comportementale et la santé pour la constitution d'enquêtes [Elliott et al., 2004].

En ergonomie, le Focus Group est utilisé comme une méthode d'enquête qualitative permettant de recueillir l'opinion et les besoins des utilisateurs finaux (réels ou futurs) sur un système ou un service particulier. Cette méthode est aussi employée en marketing, auprès de groupes de consommateurs, cette méthode peut s'appliquer aux produits afin de mieux comprendre les motivations des utilisateurs concernant l'usage d'un produit et/ou l'image qu'ils se font de ce produit [Berry et al., 2003].

Le principe général d'un Focus Group est de réunir un petit groupe de personnes, appartenant à une population identifiée, afin de collecter les opinions des participants (sur une question de société, un concept, un besoin, un système ou un service, par exemple) et d'engager des discussions collectives autour d'un sujet donné, le tout sous le contrôle d'animateurs-expérimentateurs en charge d'animer les débats, de collecter les réponses et de gérer les temps de parole de chacun.

A titre illustratif, cette méthodologie de Focus Group a été par exemple récemment utilisée dans le domaine de la conduite automobile et des séniors (population de conducteurs âgés de 65 ans et plus) par [Owsley et al., 2011], dans le cadre d'une étude consacrée à la conception de tableaux de bord de voiture. L'objectif de cette étude était la création d'une enquête démographique sur des conducteurs âgés portant sur l'organisation du tableau de bord. Cette enquête (en cours) visera notamment à analyser les relations entre les réponses données en termes de préférences, d'une part, et les performances mesurées auprès des participants concernant leurs capacités de traitement visuel, d'autre part. Il s'agit donc d'une utilisation de la méthode des Focus Group dans une phase amont d'un projet de conception d'habitacle de véhicule. Mais les Focus Group sont cependant reconnus pour leur intérêt à différentes étapes du processus de conception puis de développement de produits [Langford and McDonagh, 2003].

7.1.1 Procédure de collecte de données

Dans le cadre de notre recherche, la méthodologie de Focus Group mise en place repose sur un principe original de collecte en 2 phases successives. Dans un premier temps, une question est posée et explicitée collectivement aux participants par les animateurs-expérimentateurs, puis chaque participant est invité à produire par écrit une réponse individuelle (la méthode peut être assimilée ici à une forme de questionnaire collectif). Après avoir répondu à un bloc de questions complémentaires, correspondant à une thématique particulière (comme « la gestion de la vitesse en conduite » ou « le franchissement d'intersections »), une phase de discussion collective peut alors s'engager à l'initiative des expérimentateurs dans l'objectif, d'une part, de s'assurer que tous les participants ont bien interprété les questions posées de la même façon et, d'autre part, de savoir s'il y a des opinions divergentes ou, a contrario, si un consensus général au sein du groupe apparaît, concernant les différentes questions et la thématique investiguée.

D'un point de vue pratique, l'avantage de cette procédure fondée sur une collecte de réponses individuelles suivie d'une phase de discussion collective, est (1) de pouvoir procéder à des analyses quantitatives (i.e. traitements statistiques comparatifs) des réponses de chaque participant comme s'il s'agissait de données issues d'enquêtes ou de questionnaires individuels, (2) de pouvoir lancer puis animer les débats sur la base des opinions de chacun (en interrogeant successivement les participants sur les notes qu'ils avaient attribuées personnellement à tel item, par exemple, ou en procédant à des votes à main levée pour connaître la répartition des points de vue) et (3) de pouvoir au final mieux contrôler les effets d'influence au sein du groupe (phénomène de « leadership » et risques de « confiscation de la parole » par les personnes les plus à l'aise avec cette démarche d'expression collective).

7.1.2 Organisation des sessions et thématiques abordées

Organisées les après-midis (de 14h à 18h) et d'une durée globale de 3 heures 30 (entrecoupées de 2 pauses de 15 minutes), les séances de Focus Group ont permis de collecter le point de vue des participants sur 108 items principaux, organisés en 8 « blocs thématiques » (consacrés respectivement à une dimension particulière de l'activité de conduite), chaque bloc étant lui-même divisé en deux sections : un premier volet consacré à l'expression des « difficultés rencontrées au volant » par les participants, et un volet centré sur l'expression des « besoins et des attentes en matière d'assistance à la conduite ».

Tâche de Conduite	DIFFICULTES RENCONTREES		FONCTIONS D'AIDE A LA CONDUITE (Existantes/Futures)		TOTAL items
	Type/Contexte DIFFICULTES	PRATIQUES & ERREURS	USAGES	UTILITE & ACCEPTATION	
NAVIGATION	4	4	3	4	15
VITESSE	11	3	10	10	34
INTERSECTIONS	7	4	-	3	14
INSERTION AUTOROUTE	5	-	-	3	8
CHANGEMENT DE VOIE	2	-	-	3	5
AUTOMATISATION	-	-	2	11	13
INTERACTIONS avec AUTRUI	Groupes d'usagers 6		Type d'Incivilités 6	Contexte incivilité 7	19

Pour chacune de ces thématiques, des questions sont présentées aux participants. Pour le confort de lecture, ces questions sont détaillées par blocs dans la section résultats de ce chapitre. Chaque participant dispose d'une fiche réponse (dont une illustration est donnée en **annexe G**, qu'il doit compléter au fur et à mesure). Durant toute la session, un second expérimentateur est en charge de prendre des notes sur les différents points de vue et opinions qui sont exprimés par les participants. Pour compléter ces données, un enregistrement audio est réalisé tout au long de la séance.

7.1.3 Échelles de mesure

7.1.3.1 Difficultés rencontrées au volant

Concernant les difficultés rencontrées au volant, la collecte des données auprès des participants reposait tout d'abord sur la formulation d'une question générique (instanciée pour chaque item par un [exemple de difficulté] particulier, comme « respecter les limitations de vitesse », « suivre un itinéraire », ou « franchir une intersection », par exemple) lue à voix haute par l'expérimentateur, et assortie de la représentation graphique bipolaire comme le présente la figure 86.

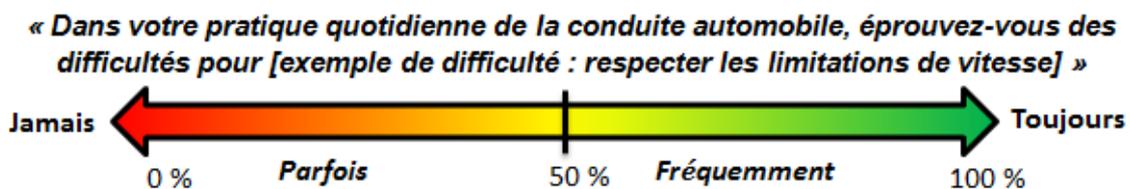


FIGURE 86 – Échelle générique utilisée pour l'analyse des difficultés

Pour chaque question posée, cette échelle était systématiquement présentée et accompagnée d'un discours explicatif spécifique (assorti d'une gestuelle pour désigner les extrémités correspondantes de la double-flèche), permettant d'explicitier aux participants la valeur de leur réponse.

Ce discours était le suivant : « *Si vous n'éprouvez **Jamais** de difficulté pour [exemple de difficulté] lorsque vous conduisez votre véhicule, alors indiquez la valeur **0%** sur votre feuille. Si vous éprouvez au contraire **Toujours** des difficultés pour [exemple de difficulté], alors indiquez la valeur **100%**. Si vous éprouvez relativement fréquemment cette difficulté, votre réponse devrait être comprise entre 50 et 100% (plus ou moins, selon la fréquence), si vous l'éprouvez plutôt rarement, votre réponse devrait alors être comprise entre 50 et 0% (plus ou moins, selon la fréquence)* ».

7.1.3.2 Besoins et Attentes en matière d'aide à la conduite

Concernant les besoins et les attentes en matière d'aides à la conduite, la collecte des données auprès des participants reposait sur la formulation d'une question sur l'utilité perçue de chaque système d'aide considéré (question ainsi instanciée par un [exemple de système d'aide] particulier, comme « régulateur de vitesse », « système d'aide à la navigation », par exemple), lue à voix haute par l'expérimentateur et assortie de la représentation graphique bipolaire comme le présente la figure 87.

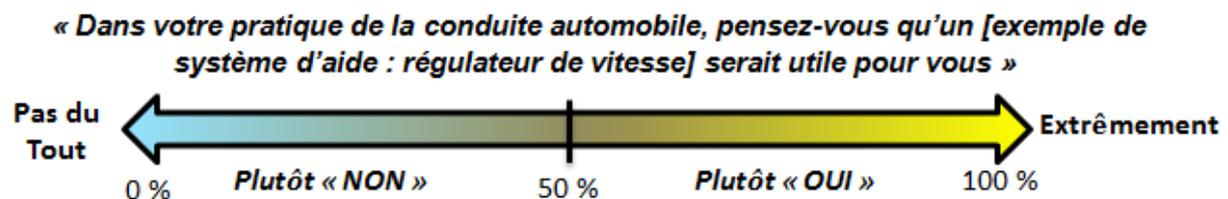


FIGURE 87 – Échelle générique utilisée pour l'analyse des besoins en assistances

Pour chaque question posée, cette échelle était systématiquement accompagnée du discours explicatif (assorti d'une gestuelle ad hoc), permettant d'explicitier aux participants la valeur de leur réponse de la façon suivante : « *Si vous pensez qu'un [exemple de système d'aide] ne vous serait **Pas du tout Utile** lorsque vous conduisez votre véhicule, alors indiquez la valeur **0%** sur votre feuille. Si vous pensez au contraire qu'un tel système vous serait **Extrêmement Utile**, alors indiquez la valeur **100%**. Si vous pensez qu'il vous serait plutôt utile, votre réponse devrait être comprise entre 50 et 100% (plus ou moins, selon l'utilité estimée), si vous pensez qu'il vous serait peu utile, votre réponse devrait alors être comprise entre 50 et 0% (plus ou moins, selon l'utilité estimée)* ».

7.1.4 Répartition des ressources durant la conduite

En guise de bilan de la session, nous avons invité les participants à s'interroger sur la répartition de leurs ressources lorsqu'ils conduisent. Afin de rendre plus concrète la répartition des pourcentages et éviter les problèmes de calcul mental, nous avons choisi un système en rapport avec le réel : la monnaie. Le principe a été de distribuer à chaque participant des pièces de monnaie pour un montant total de 1 euro. Cette somme, de 100 cents (correspondant au 100% de leurs ressources) était répartie en 10 pièces de 1 cent, 8 pièces de 5 cents et 5 pièces de 10 cents, afin de proposer une large gamme de valeurs possibles. Le fait que les participants disposent d'un montant fixe (en cents) permettait de matérialiser, auprès de nos participants, l'idée selon laquelle la qualité de ressources disponible pour la conduite est limitée. Il était alors demandé aux participants de répartir l'intégralité de ces 100 cents entre les différentes tâches composant

l'activité de conduite (comme naviguer sur un itinéraire, contrôler sa vitesse, comprendre l'infrastructure routière, ou gérer les interactions avec les autres usagers, par exemple). Cet exercice était réalisé en deux phases : dans le cadre de la réalisation d'un trajet sur un itinéraire familier, tout d'abord, puis ensuite dans le contexte de la conduite sur itinéraire inconnu. La figure 88 présente un participant en train de répartir ses ressources durant cet exercice.



FIGURE 88 – Illustration du principe d'auto-répartition des ressources en conduite

7.1.5 Participants

Trente personnes (**15 hommes et 15 femmes**) ont participé à nos groupes de discussion, via 6 sessions comptant 5 participants en moyenne. Tous ces participants avaient au préalable pris part à l'expérimentation sur route. Trois sessions ont été organisées en fin 2013, sur trois journées consécutives, et les trois autres sessions ont été réparties entre février et fin mars 2014. Tous ces participants avaient pris part à l'expérimentation sur route (qui s'était déroulée entre 15 jours et 2 mois plus tôt, selon les participants). Si l'on s'intéresse aux caractéristiques de ce sous-échantillon, on note que les participants étaient **âgés de 70 à 81 ans** ($M=73,3$, $SD=3.18$). On dénombre 15 hommes, âgés de 70 à 81 ans ($M=72.5$, $SD=3.32$) et 15 femmes, âgées de 70 à 74 ans ($M=74.1$, $SD=2.94$). Les participants recevaient une indemnisation de 80 euros pour la participation à cette phase de l'étude.

7.2 Navigation : Difficultés et Besoins d'aide

7.2.1 Difficultés rencontrées pour la navigation

Pour appréhender les difficultés rencontrées par les seniors concernant cette tâche de Navigation (en l'absence de système d'aide à la conduite), 8 questions étaient posées (figure 89). Quatre portaient sur des difficultés au sens strict, qu'il s'agisse de difficultés de navigation (selon que l'itinéraire à réaliser est familier ou non) ou de difficultés d'accès aux informations routières pour suivre son itinéraire (trouver et lire les panneaux de direction), 3 portaient sur des erreurs (se tromper de route, faire plusieurs fois le tour d'un rond-point pour trouver sa sortie, devoir s'arrêter pour demander son chemin à un passant ou téléphoner), et la dernière portait sur la confiance que les participants avaient en eux-mêmes concernant leurs propres capacités à gérer et réaliser cette tâche de navigation (sans aide à la conduite).

Items	Questions: Difficultés de navigation, sans aide (Jamais=0 / Toujours=100)
N1	Difficultés pour suivre et réaliser un itinéraire familier ?
N2	Difficultés pour suivre et réaliser un itinéraire non familier ?
N3	Difficultés pour lire les Panneaux/Informations de direction ?
N4	Difficultés pour trouver le Panneaux/Informations de direction ?
Questions: Erreurs de Navigation, sans aide	
N8	Vous arrive-t-il de vous tromper de routes ?
N9	Vous arrive-t-il de faire plusieurs tours d'un Rond-Point ?
N10	Vous arrêter pour demander chemin/téléphoner après vous être perdu ?
Question: Confiance en Soi pour la Navigation	
N15	Confiance en vous-même ? (sans aide)

FIGURE 89 – Navigation : items difficultés, erreurs et confiance en soi

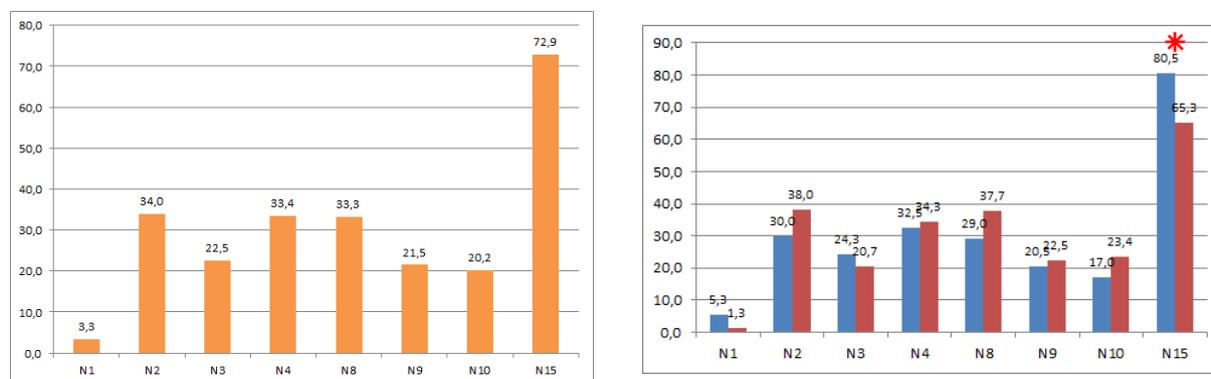


FIGURE 90 – Navigation : valeurs moyennes difficultés, erreurs et confiance en soi

7.2.1.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes attribuées par les participants sont présentées figure 90. Le premier résultat qui apparaît de façon manifeste dans ce tableau est que la tâche de navigation (considérée ici systématiquement sans l'usage de système d'assistance de type GPS) ne pose aucune difficulté aux conducteurs âgés, dès lors qu'ils se déplacent sur un itinéraire familier (valeur moyenne de 3.3%). En revanche, et bien que modérée (34%), cette difficulté est néanmoins jugée comme 10 fois plus élevée (34%) lorsqu'il s'agit de parcourir un itinéraire non familier.

En matière de prise d'information pour la navigation, il apparaît que la recherche des panneaux indicateurs est jugée comme plus difficile que la tâche de lecture des informations qu'ils contiennent (33.4% versus 22.5%). Enfin, on notera une confiance en soi élevée (72.9%) des participants concernant leurs capacités à réaliser la tâche de navigation par eux-mêmes dans leurs pratiques quotidiennes de conduite, et ce y compris sans système de navigation (bien qu'une large part d'entre eux en possède un et l'utilisent régulièrement, comme nous le verrons par la suite).

7.2.1.2 Comparaison Hommes-Femmes

La seule différence statistiquement significative apparaissant ici porte sur le jugement de confiance en soi : comparativement aux Hommes, les Femmes ont une moindre confiance en elles en matière de navigation (80,5 versus 65,3% de confiance - $p=0.049$).

7.2.2 Aides à la navigation : Usages, Utilité perçue et Attentes

Pour appréhender les besoins des conducteurs âgés en matière d'aide à la Navigation, 7 questions principales étaient posées (figure 91). Quatre portaient sur les Usages (possession d'un système de navigation et fréquence d'utilisation), l'Utilité Perçue et l'Acceptation des systèmes de Navigation d'ores et déjà existants, 2 questions portaient sur des systèmes futurs basés sur des interfaces avancées (Vision Tête Haute et Réalité Augmentée), et une dernière question portait sur la Confiance des participants dans la technologie d'aide à la Navigation.

Items	Systèmes de Navigation: Usage, Utilité, Acceptation (Non=0 / Oui=100)
N5	Possédez-vous un système d'aide à la navigation ?
N5B	A quelle Fréquence utilis(eri)ez-vous un système de navigation ?
N6	Utilité Perçue : Un système de navigation est/serait-il utile pour vous ?
N7	Acceptation: Devrait-il être obligatoire dans toutes les voitures ?
	Questions : Intérêt pour Futurs Systèmes de Navigation (Non=0 / Oui=100)
N12	Utilité Perçue : Vision Tête Haute
N13	Utilité Perçue : Réalité Augmentée
	Question: Confiance dans les Systèmes de Navigation (Non=0 / Oui=100)
N14	Confiance dans les/votre Systèmes d'aide à la Navigation

FIGURE 91 – Aides à la navigation : item usages, utilité perçue et attentes

7.2.2.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes attribuées par les participants sont présentés figure 92. Le premier résultat notable qu'il convient de constater est que 70% des conducteurs (21/30) déclarent posséder un système de Navigation. Il s'agit donc d'une technologie qui leur est familière, et pour laquelle ils ont un intérêt avéré. En outre, pour les détenteurs de ces systèmes, la fréquence d'usage est relativement conséquente (39,2%) dès lors que l'on considère qu'une large part des déplacements effectués par les conducteurs âgés (information confirmée durant la discussion) le sont sur des itinéraires familiers, susceptibles d'être réalisés sans aide à la navigation.

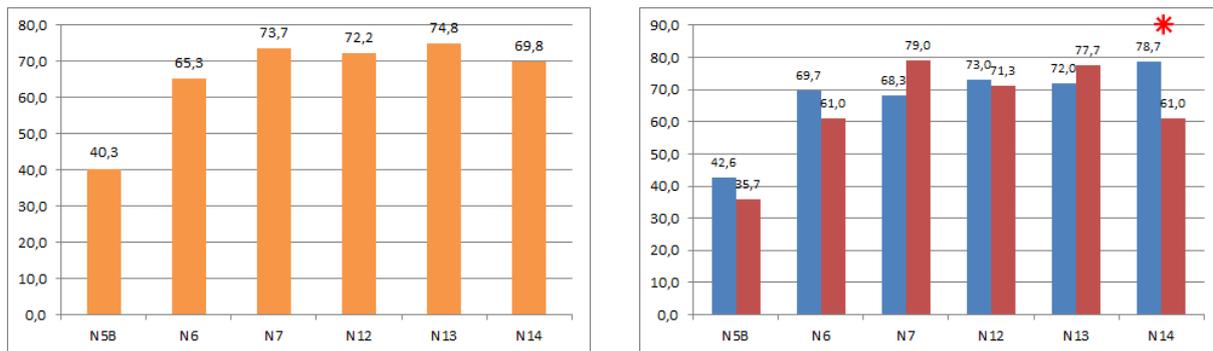


FIGURE 92 – Aides à la navigation : valeurs moyennes usages, utilité perçue et attentes

Dans le même registre, l'Utilité Perçue (65.3 %) et l'Acceptation (73.7%) des systèmes de Navigation apparaissent ici comme élevées (supérieure à 65%). De même, la confiance dans ces dispositifs d'assistance est elle aussi élevée (69,8%), même si elle est très légèrement inférieure à la confiance en soi-même, présentés précédemment (72,9%). Enfin, pour ce qui est des Attentes, deux systèmes de Navigation « Avancés » ont été présentés aux participants à travers une illustration (figure 93). Pour ces deux types de dispositifs, la valeur d'Utilité Perçue est très élevée (72.2 et 74.8%, respectivement) et sensiblement supérieure à l'Utilité Perçue des Systèmes de Navigation actuels (65.3%).

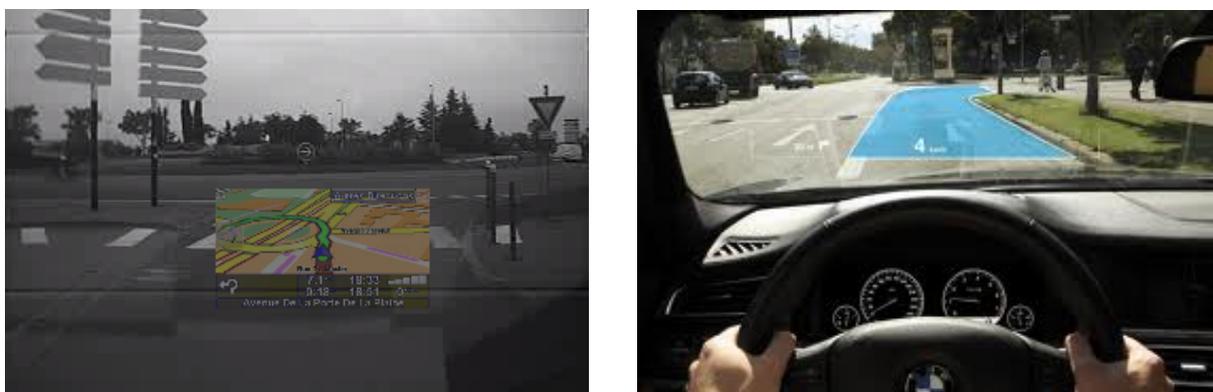


FIGURE 93 – Illustrations de navigateurs avancés présentés aux participants (type vision tête-haute à gauche, réalité augmentée à droite)

7.2.2.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les différences Hommes-Femmes ($N=15 \times 2$), on notera tout d'abord un moindre taux de possession de systèmes de Navigation pour les femmes (53%) que pour les hommes (86,6%). Parmi l'ensemble des dimensions mesurées, la seule différence Hommes-Femmes statistiquement significative concerne le niveau de confiance dans le GPS qui, bien que relativement élevé pour les conductrices (61%), est nettement inférieur à celui des conducteurs (78.7%). On notera toutefois qu'en dépit de cette moindre confiance apparente, qu'il convient de mettre en regard avec le plus faible taux de possession, ce sont les femmes qui ont le plus haut niveau d'Acceptation (79%, soit 10 points de plus que les hommes, même si cette différence n'est pas statistiquement significative), attestant de leur intérêt général pour ce type d'assistance, qui devrait selon elle constituer « un équipement obligatoire dans tous les véhicules ». L'expression de ce besoin, plus marquée à ce niveau chez les femmes, corrobore les résultats présentés précédemment concernant la confiance en soi-même pour réaliser la navigation, qui était significativement inférieure chez les femmes (65.3%) comparativement aux hommes (80.5%).

7.3 Gestion de la vitesse : Difficultés et Besoins d'aide

7.3.1 Difficultés rencontrées pour la gestion de la vitesse

L'investigation des difficultés rencontrées par les conducteurs âgés concernant le contrôle et la régulation de leur vitesse durant la conduite a été appréhendée durant les Focus Groups au moyen de 14 items (figure 94). La première question (V1) portait sur l'attitude générale vis-à-vis du respect des limitations de vitesse. Les questions V2 et V3 portaient sur les pratiques de transgressions des limitations de vitesse, qu'elles soient délibérées ou au contraire involontaires. Une série de 10 questions portaient ensuite sur les difficultés rencontrées durant la conduite pour respecter les limitations de vitesse (en termes de connaissance de la limite autorisée, de contrôlabilité de la vitesse sur son véhicule, de respect des vitesses légales en fonction du contexte et des limitations à 50, 30, 90 ou 130 km/h, d'adaptation de sa vitesse sur des tronçons routiers à fréquent changement de limite légale). Enfin, une dernière question (V29) portait sur une estimation du Niveau de Préoccupation que représentait pour chacun le respect des limitations de vitesse durant sa conduite.

Items	Questions (Jamais=0 / Toujours=100)
V1	ATTITUDE : En général, essayez-vous de respecter les limitations de vitesse ?
V29	Le respect des limitations de vitesse vous préoccupe-t-il lorsque vous conduisez ?
PRATIQUES & ERREURS	
V2	Lorsque cela vous arrive de rouler au-dessus de la vitesse légale, dans combien de cas s'agit-il d'une Transgression Délibérée ?
V3	Lorsque cela vous arrive de rouler au-dessus de la vitesse légale dans combien de cas s'agit-il d'une Erreur Involontaire ?
DIFFICULTES RENCONTREES (sans assistance)	
V4	Vous arrive-t-il d'avoir des doutes sur la vitesse maximale autorisée sur un tronçon ?
V5	Difficultés pour contrôler la vitesse (vérifier et/ou maintenir) de votre véhicule ?
V6	Difficultés pour respecter le 50 km/h en Ville ?
V7	Difficultés pour respecter les zones 30 km/h ?
V8	Difficultés pour respecter le 90 km/h sur Routes de Campagne ?
V9	Difficultés pour respecter le 90 km/h sur le Périphérique ?
V9bis	Difficultés pour atteindre le 90 km/h sur le Périphérique ?
V10	Difficultés pour respecter le 130 km/h sur Autoroute ?
V11	Difficultés pour adapter votre Vitesse lorsque les limitations fluctuent : Hors agglomération (90-70-90) ?
V12	Difficultés pour adapter votre Vitesse lorsque les limitations fluctuent : Sur voies rapides/autoroutes (130-110-90) ?

FIGURE 94 – Attitudes, pratiques et difficultés en matière de respect des limitations de vitesse

7.3.1.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes attribuées par les participants sont présentées figure 95. En premier lieu, il apparaît ici (item V1) que les conducteurs âgés ont une attitude très respectueuse des limitations de vitesses (87.1%). Cette première réponse est confortée par l'item 29, indiquant que le respect des vitesses légales constitue une préoccupation très importante durant leur activité de conduite (75.5%).

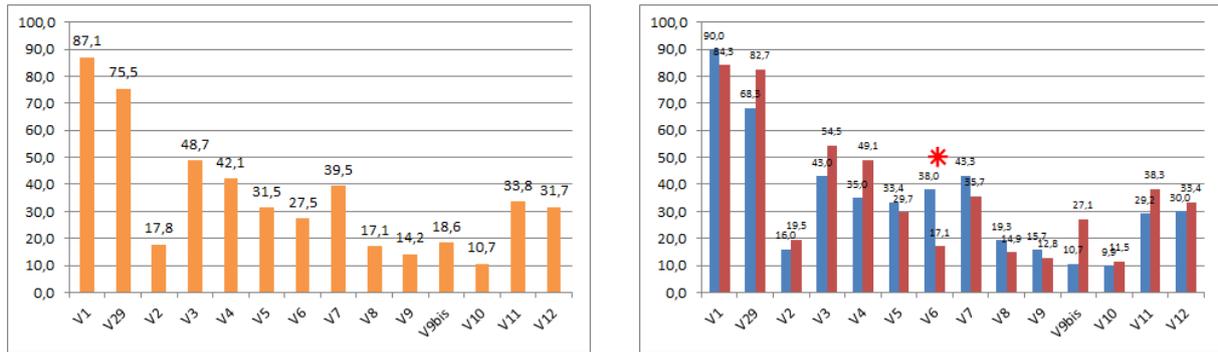


FIGURE 95 – Vitesse : attitudes, pratiques et difficultés moyennes

En outre (V2), ils déclarent transgresser très rarement les limitations de vitesse de façon délibérée (17,8% en moyenne), et que lorsque cela se produit (V3), il s'agit bien plus fréquemment d'une erreur involontaire (48,7%).

Si l'on s'intéresse à présent aux difficultés rencontrées par ce groupe de conducteurs en matière de respect de limitation de vitesse, il apparaît que l'une de leur principale difficulté (en cas de conduite sans système d'assistance) est de connaître avec certitude la limite légale sur le tronçon routier emprunté (V4 ; 42,1%).

Si l'on considère les contextes d'occurrences des transgressions de vitesses (délibérées ou non), il apparaît aussi que les conducteurs âgés ont plus de difficultés à respecter les limitations dans les zones 30 (39,5%), ainsi que sur les tronçons routiers ayant des limitations de vitesse fluctuantes, nécessitant d'adapter leur vitesse en permanence (33,8 et 31,7%), puis enfin, et dans une moindre mesure, dans les zones limitées à 50 km/h (27,5%). Ils n'ont en revanche aucune difficulté pour respecter les limitations de vitesse pour tous les autres types de routes limitées de 90 à 130 km/h (valeurs de difficultés allant à 17,1 à 10,7%, selon le contexte).

7.3.1.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on s'intéresse à présent aux différences Hommes-Femmes, un seul item présente une différence statistiquement significative. Il s'agit de l'item V6, se rapportant au respect des limitations de vitesse dans les zones limitées à 50 km/h. Comparativement, les femmes déclarent avoir moins de difficulté pour respecter le 50 que les hommes (17,1 vs 38).

7.3.2 Aides à la gestion de la vitesse : Usages, Utilité perçue et Attentes

Cinq types d'aides au contrôle de la vitesse ont été présentés aux participants. Deux sont de types IVIS (information au conducteur), et 3 autres reposent sur des technologies d'automatisation de la conduite. Les 5 fonctions proposées aux participants sont :

- L'**informateur** qui donne au conducteur la vitesse maximale à chaque instant (via un affichage par exemple).
- L'**avertisseur** qui alerte le conducteur (signal sonore par exemple) lorsque sa vitesse atteint la vitesse maximale autorisée sur la portion courante.
- Le **limiteur** qui limite la vitesse du véhicule à une valeur de consigne en bridant l'injection. L'enfoncement de la pédale d'accélérateur n'a pas d'effet au-delà, lorsque la vitesse de

consigne est atteinte (mais un enfoncement rapide et prononcé permet souvent de débrayer le système, par exemple pour effectuer un dépassement).

- Le **régulateur** qui maintient automatiquement une vitesse de consigne, sans que le conducteur ait besoin d'appuyer sur la pédale d'accélérateur. Le conducteur active volontairement le régulateur (à l'aide d'un bouton sur un commodo par exemple) et l'appui sur une des pédales (accélérateur ou frein) débraye le système.
- Le **régulateur adaptatif (RA)** avancé qui adapte la vitesse du véhicule dès que la vitesse maximale autorisée change, tout en assurant une distance inter-véhiculaire sécuritaire avec le véhicule qui précède.

Nous avons interrogé les participants concernant leurs usages, l'utilité perçue et leur niveau d'acceptation pour chacune de ces 5 fonctions d'assistance au contrôle de la vitesse (figure 96).

Items	Questions: Aides au contrôle de la Vitesse (Non=0 / Oui=100)
V13	Disposez-vous d'un « Informateur » de vitesse légale
V13B	Si oui, Fréquence d'usage
V14	Utilité Perçue : un Informateur embarqué vous est/serait-il utile ?
V15	Acceptation : l'Informateur devrait être obligatoire dans toutes les voitures ?
V16	Disposez-vous d'un « Avertisseur » de vitesse légale
V16B	Si oui, Fréquence d'usage
V17	Utilité Perçue : un Avertisseur embarqué vous est/serait-il utile ?
V18	Acceptation : l'Avertisseur devrait être obligatoire dans toutes les voitures ?
V19	Disposez-vous d'un « Limiteur de Vitesse »
V19B	Si oui, Fréquence d'usage
V20	Utilité Perçue : un Limiteur de Vitesse vous est/serait-il utile ?
V21	Acceptation : le Limiteur devrait être obligatoire dans toutes les voitures ?
V22	Disposez-vous d'un « Régulateur (simple) de Vitesse »
V22B	Si oui, Fréquence d'usage
V23	Utilité Perçue : un Régulateur (simple) vous est/serait-il utile ?
V24	Acceptation : le Régulateur (simple) devrait être obligatoire ?
V25	Disposez-vous d'un « Régulateur de Vitesse Adaptatif »
V25B	Si oui, Fréquence d'usage
V26	Utilité Perçue : un Régulateur Adaptatif vous est/serait-il utile ?
V27	Acceptation : le Régulateur Adaptatif devrait être obligatoire ?

FIGURE 96 – Aides au contrôle de la vitesse : usages, utilité perçue et attentes

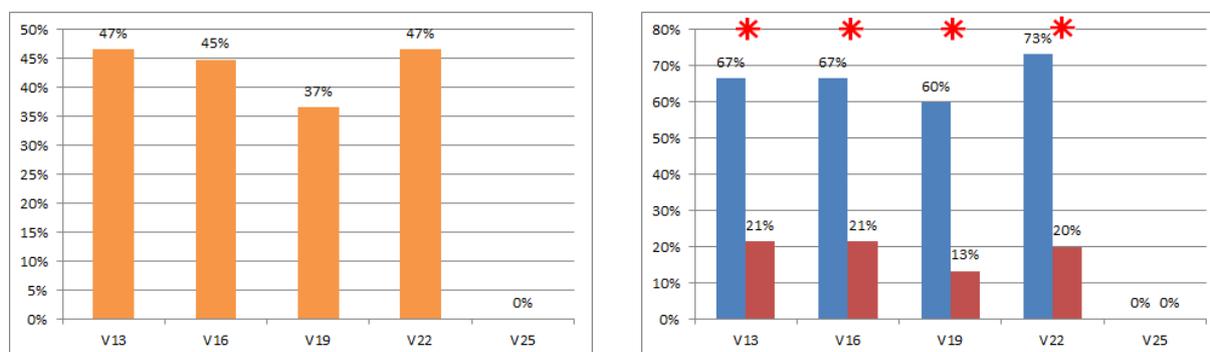


FIGURE 97 – Aides au contrôle de la vitesse : possession d'un système

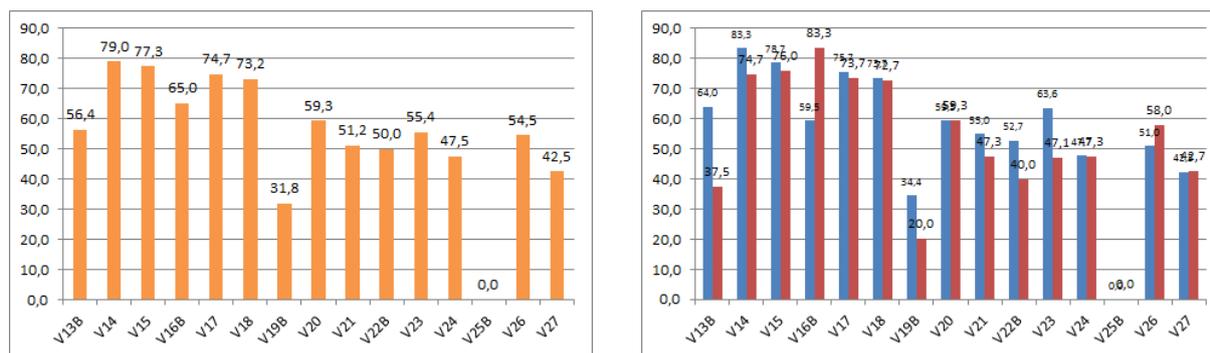


FIGURE 98 – Aides au contrôle de la vitesse : valeurs moyennes usages, utilité perçue et attentes

7.3.2.1 Résultats globaux

La possession de systèmes d'aide au contrôle de la vitesse est présentée figure 97. On notera tout d'abord qu'à l'exception du Régulateur Adaptatif (RA), près de la moitié de nos conducteurs âgés possèdent et utilisent de tels systèmes d'assistance (14/30 pour les fonctions Informateur, Avertisseur et Régulateur Simple, et 11/30 pour le Limiteur). En outre, pour les non-détenteurs, la plupart d'entre eux connaissaient l'existence de tels dispositifs d'assistance, voire les avaient vu fonctionner. Ainsi, les réponses collectées à ce niveau peuvent être considérées comme provenant d'un groupe d'utilisateurs effectifs (pour les détenteurs) ou a minima informés (pour les non-détenteurs) des fonctions d'aide au contrôle et à la régulation de la vitesse, au moins sous une certaine forme existante (exception faite du Régulateur Adaptatif).

A cet égard, la hiérarchie des préférences (en termes d'Utilité Perçue comme d'Acceptation, ces deux paramètres étant en général relativement proche pour chaque fonction considérée, respectivement) est riche d'enseignement (figure 98). La fonction d'assistance qui recueille le plus de suffrages positifs auprès de notre échantillon de conducteurs âgés est la fonction « d'Informateur » (79% d'Utilité Perçue et 77,3% d'Acceptation), suivie de très près par « l'Avertisseur » (74,7% d'Utilité Perçue et 73,2% d'Acceptation). On notera en outre, chez les détenteurs de ce type de dispositif, une fréquence d'usage relativement élevée de ces aides (56,4 et 65%, respectivement). De l'autre côté, le « Limiteur », le « Régulateur Simple » et le « Régulateur Adaptatif », s'ils sont globalement perçus comme utiles (entre 59,3 et 54,5%), sont néanmoins moins bien acceptés par les seniors (entre 51,2 et 42,5%).

En d'autres termes, les fonctions d'Information (ou d'Alerte) semblent mieux acceptées et perçues comme plus utiles par notre groupe de conducteurs âgés que les fonctions d'automatisation partielle intervenant directement sur le contrôle ou la régulation de la vitesse.

7.3.2.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, des différences significatives apparaissent pour toutes les difficultés à l'exception du franchissement d'une intersection prioritaire aucune différence significative n'apparaît, à l'exception du taux de possession de système d'aide qui est deux fois supérieur chez les conducteurs (10/15 en moyenne, hors RA) que chez les conductrices (3,25/15 en moyenne, hors RA).

7.4 Franchissement d'intersections : Difficultés et Besoins d'aide

7.4.1 Difficultés rencontrées pour le franchissement d'intersections

L'analyse des difficultés rencontrées par les conducteurs âgés en situation de franchissement d'intersections a été appréhendée au moyen de 7 questions (figure 99). Les 2 premières (I1 et I2) portaient sur une estimation générale du niveau de difficulté pour franchir une intersection selon que le conducteur est prioritaire ou non prioritaire. Deux questions supplémentaires (I3 et I4) visaient à appréhender plus finement la nature des difficultés rencontrées en termes d'identification des règles de priorité en approche de l'intersection, puis de réalisation de la manœuvre de franchissement au sens strict. Enfin, trois questions portaient plus spécifiquement sur la manœuvre de Tourne-à-Gauche (TàG) imposant de franchir un flux opposé de véhicules prioritaires. Dans ce contexte, les participants devaient juger de leurs difficultés à trois niveaux complémentaires (I5 à I7) pour permettre une prise de décision adéquate et la réalisation d'une manœuvre de TàG sécuritaire : la Perception des autres usagers circulant à contresens, l'Estimation de leur Vitesse, et l'Estimation de leur Distance.

Items	Questions: Difficultés en Intersection (Jamais=0 / Toujours=100)
DIFFICULTES RENCONTREES	
I1	Difficultés pour franchir une intersection, lorsque vous êtes prioritaires?
I2	Difficultés pour franchir une intersection, si vous n'êtes pas prioritaires?
I3	Difficultés pour identifier les règles de priorité?
I4	Difficultés pour réaliser la manœuvre de franchissement ?
I5	Difficultés Tourne-à-Gauche (TàG) : Percevoir les autres?
I6	Difficultés TàG : Estimer la vitesse des autres?
I7	Difficultés TàG : Estimer la distance des autres?
PRATIQUES et ERREURS	
I8	Vous arrive-t-il de passer au feu orange?
I9	Passage à l'orange délibéré?
I10	Franchir un stop sans vous arrêter totalement?
I11	Stop "glissé" délibéré?

FIGURE 99 – Franchissement d'intersections : difficultés rencontrées, pratiques et erreurs

En complément de ces items, 4 questions supplémentaires portaient sur les pratiques et erreurs en intersections, concernant d'un côté le franchissement de carrefour à feux alors que ceux-ci sont à l'orange (I8 pour fréquence d'occurrence, et I9 pour le caractère délibéré ou non de cette manœuvre) et de l'autre côté le franchissement de carrefours à stop sans s'arrêter totalement (I10 pour fréquence d'occurrence, et I11 pour le caractère délibéré ou non de cette manœuvre).

7.4.1.1 Résultats globaux

Le premier résultat qui apparaît ici est que le franchissement d'intersection n'est pas jugée comme très difficile, du moins au regard de valeurs moyennes collectées pour l'ensemble de notre échantillon. Les intersections dans lesquelles les conducteurs ne sont pas prioritaires sont jugées légèrement plus difficiles que les intersections prioritaires.

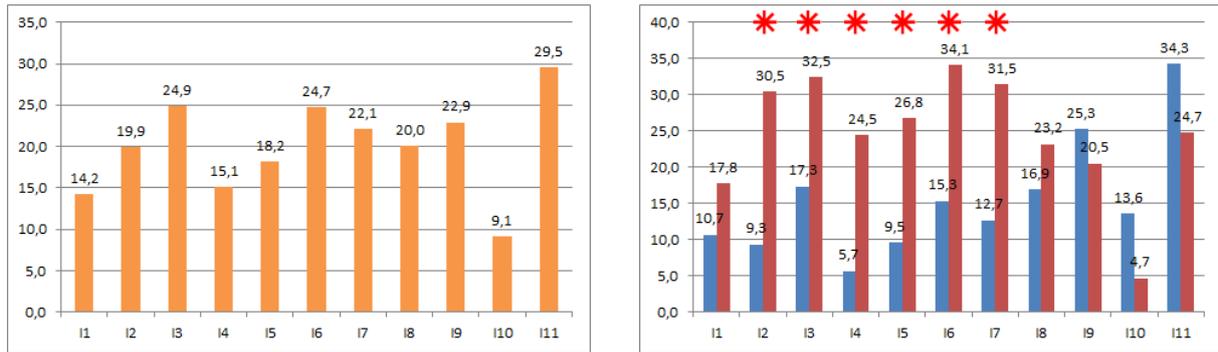


FIGURE 100 – Franchissement d'intersections : valeurs moyennes difficultés, pratiques et erreurs

L'identification des règles de priorité semble tout de même être plus difficile (25% environ), comparée à la manœuvre de franchissement elle-même qui est évaluée en moyenne à 15% de difficulté. Concernant les difficultés en situation de TàG, l'estimation de la vitesse des autres véhicules est en tête (25%), suivi de l'estimation de la distance (22%). La perception des autres usagers semble quant à elle moins problématique avec un peu plus de 18%.

Concernant les pratiques, le passage au feu orange n'est pas très fréquent (20%), mais lorsque cela se produit, c'est de façon délibérée dans près d'un quart du temps. Pour ce qui est des intersections régulées par un panneau stop, le franchissement sans un arrêt total du véhicule est déclaré comme étant rare (9%), mais réalisé de façon plus délibérée encore que pour le passage au feu orange (près de 30%).

7.4.1.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, toutes les difficultés déclarées par les femmes sont significativement supérieures à celles déclarées par les hommes, à l'exception du franchissement d'une intersection en étant prioritaire. En effet, les femmes évaluent la difficulté pour franchir une intersection en étant non prioritaire à plus de 30% (contre 9% pour les hommes, $p=0.003$). Si l'on s'intéresse à l'ordre des sous-dimensions que comprennent le franchissement d'une intersection, la hiérarchie en matière de difficultés diffère également pour les femmes. L'estimation de la vitesse des autres véhicules est en tête avec 34% (contre 15% pour les hommes, $p=0.008$), suivi de l'identification des règles de priorité avec 32.5% (contre 17.3% pour les hommes, $p=0.011$). Viennent ensuite l'estimation de la distance des autres véhicules avec 31.5% (contre 12.7% pour les hommes, $p=0.019$), la perception des autres usagers avec 26.8% (contre 9.5% pour les hommes, $p=0.003$) et enfin la réalisation de la manœuvre à proprement parlé avec 24,5% (contre 5.7% pour les hommes, $p=0.000$).

7.4.2 Aide en situation d'intersection : Usages, Utilité perçue et Attentes

Trois types d'aide en intersection dans une manœuvre de TàG ont été présentés aux participants au moyen des illustrations (assorties d'explications verbales) telles qu'elles sont reproduites en figure 101. Les deux premiers concernent des systèmes informatifs et le troisième un système d'alerte. L'aide à la perception informerait le conducteur de la distance à laquelle se trouve un véhicule circulant en sens opposé, ainsi que la vitesse de ce dernier. Dans ce cas, le conducteur

est libre de consulté ces informations pour prendre sa décision. L'aide à l'estimation du créneau calculerait le temps qui sépare le véhicule en approche par rapport à notre position.

L'aide à la détection des risques concerne quant à elle une solution qui ne donne pas d'information sur la dynamique du véhicule en approche mais alerte le conducteur s'il choisit de s'engager alors que le créneau d'insertion présente un risque. Pour chacun de ces systèmes, nous avons interrogé les participants concernant leur utilité perçue (figure 102).

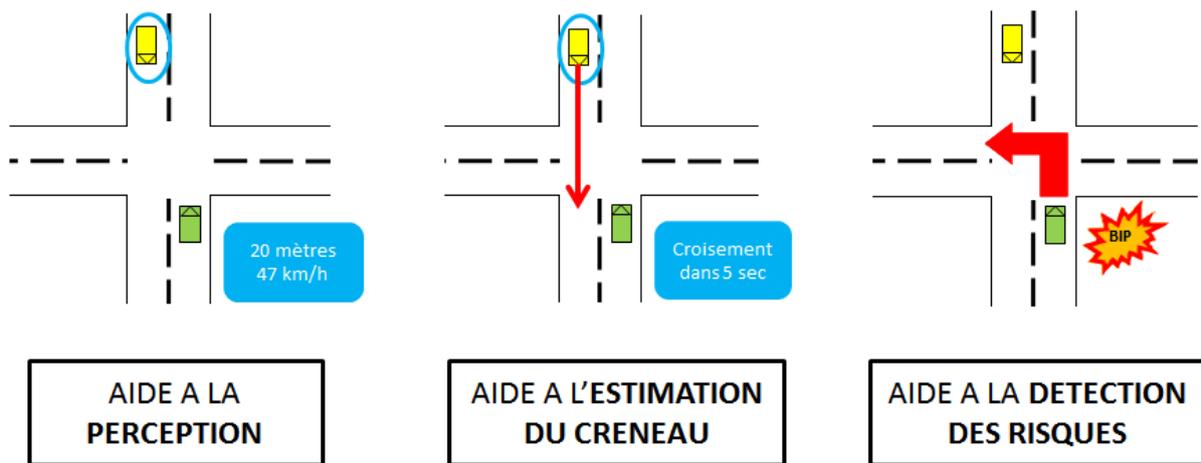


FIGURE 101 – Trois philosophies d'aide au TàG présentées aux participants

Items	Questions: Aides en intersection (Non=0 / Oui=100)
I12	Aide à la perception en intersection : Utilité perçue
I13	Aide à l'estimation du créneau en intersection : Utilité perçue
I14	Alerte risque de collision en intersection : Utilité perçue

FIGURE 102 – Aides en intersection : usages, utilité perçue et attentes

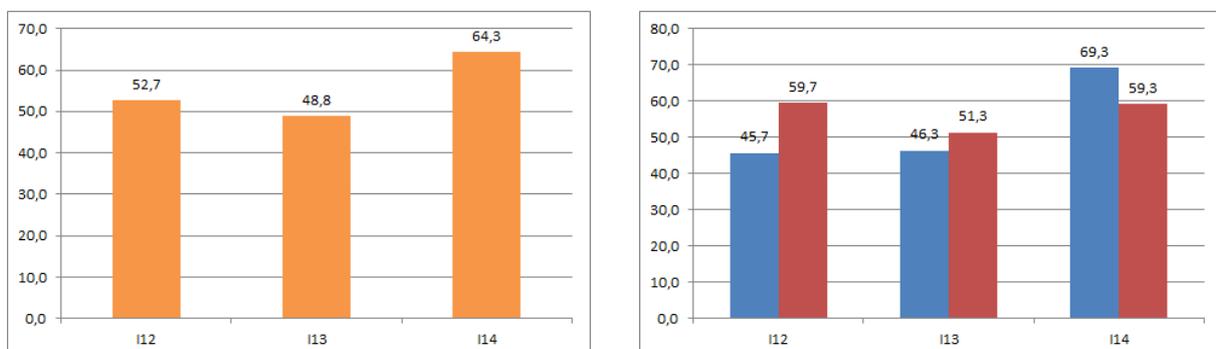


FIGURE 103 – Aides en situation d'intersection : valeurs moyennes d'utilité perçue

7.4.2.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes d'utilité perçue des 3 types d'aide au TàG sont présentés figure 103. Les résultats indiquent une plus grande utilité perçue pour le système délivrant une alerte, suivi de l'aide à la perception. L'aide à l'estimation du créneau arrive en dernière position, avec une utilité perçue qui est en dessous de 50%.

7.4.2.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, nous n'observons pas de différences significatives. Néanmoins, on peut noter que chez les hommes, l'aide à la détection des risques (alerte) est perçue comme plus utile (64%) comparés aux deux autres qui ont une utilité perçue moyenne comparable (environ 45%). Chez les femmes, les valeurs sont plus proches pour les différents types de systèmes, avec une utilité perçue comparable pour l'aide à la perception et l'aide à la détection des risques (environ 59%), suivi par l'aide à l'estimation du créneau d'insertion (51%).

7.5 Insertions sur voies rapides : Difficultés et Besoins d'aide

7.5.1 Difficultés rencontrées pour les insertions sur voies rapides

Pour appréhender les difficultés dans les situations d'insertion sur voies rapides, 5 questions étaient posées aux participants (figure 104). D'abord nous nous intéressons à la difficulté globale de ce type de manœuvre, ainsi que l'appréhension éventuelle engendrée lorsqu'elle doit se dérouler dans une circulation dense. Ensuite, nous avons détaillé les sous-dimensions de la manœuvre concernant la perception des autres usagers, l'estimation de leur vitesse, et de leur distance.

Items	Questions: Aides à l'insertion sur voies rapides (Non=0 / Oui=100)
C1	Insertion voies rapides : Difficultés
C2	Insertion voies rapides : Appréhension si trafic dense
C3	Insertion voies rapides : difficulté à Percevoir les autres
C4	Insertion voies rapides : difficulté à Estimer la vitesse des autres
C5	Insertion voies rapides : difficulté à Estimer la distance des autres

FIGURE 104 – Insertions sur voies rapides : difficultés rencontrées

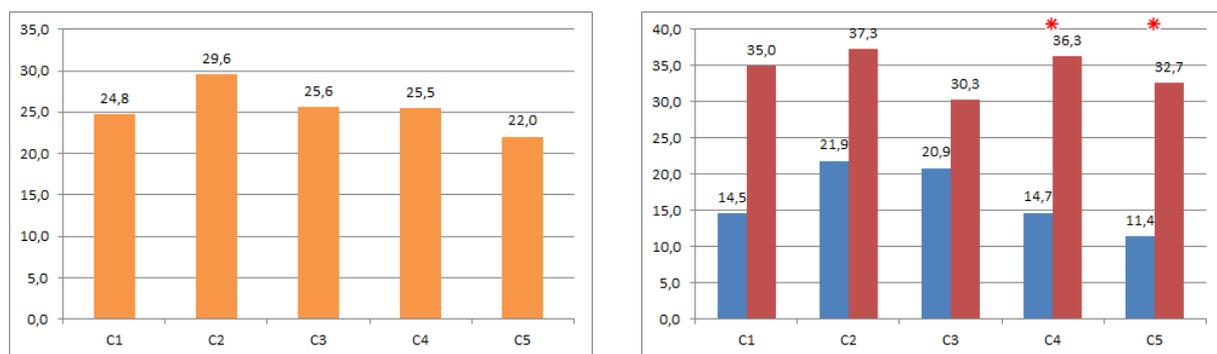


FIGURE 105 – Insertions sur voies rapides : valeurs moyennes des difficultés

7.5.1.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes des difficultés rencontrées dans les insertions sur voies rapides sont présentées figure 105. On note que la difficulté globale est modérée avec une valeur de 25%. L'appréhension lorsque la circulation est dense frôle quant à elle les 30%. Pour ce qui concerne les sous dimensions de la manœuvre, la perception des autres usagers et l'estimation de leur vitesse sont comparables, avec des valeurs proches de 25%. L'estimation de leur distance semble légèrement moins importante, avec 22%.

7.5.1.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, on note que les femmes jugent plus difficile l'estimation de la vitesse des autres usagers (36% contre 14.7% pour les hommes, $p=0.013$), et l'estimation de la distance (32.7% contre 11.4%, $p=0.011$). Ces deux dimensions sont de premier ordre pour estimer le créneau d'insertion disponible lors d'une insertion, les femmes pourraient donc être plus en difficulté.

7.5.2 Aides à l'insertion sur voies rapides : utilité perçue

Items	Questions: Aides à l'insertion sur voies rapides (Non=0 / Oui=100)
C6	Aide à la perception en insertion : Utilité perçue
C7	Aide à la décision en insertion : Utilité perçue
C8	Insertion automatique en insertion : Utilité perçue

FIGURE 106 – Aides à l'insertion sur voies rapides : utilité perçue

Nous avons interrogé nos participants au sujet de l'utilité perçue pour 3 fonctions d'assistance (figure 106). A l'image de ce que nous avons évoqué pour les intersections, les deux premières concernent des systèmes d'information ou d'alerte et la troisième relève de l'automatisation de la conduite. La première concerne l'aide à la perception (via un affichage qui informe de la présence d'un véhicule dans l'angle mort par exemple) et la seconde l'aide à la décision (alerte en cas de créneau d'insertion risqué par exemple). La troisième proposition concerne une prise en charge de la manœuvre par le véhicule, de façon automatique (par exemple en appuyant sur un bouton).

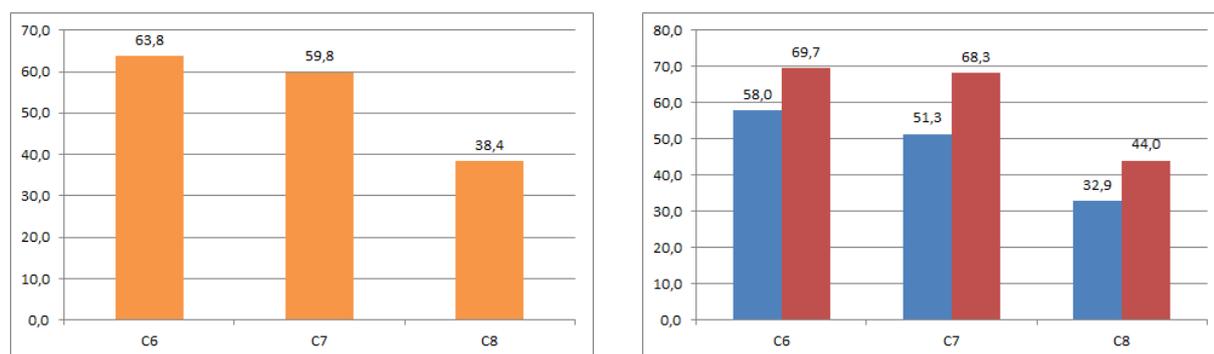


FIGURE 107 – Aides à l'insertion : valeurs moyennes d'utilité perçue

7.5.2.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes d'utilité perçue attribuée à chaque type d'assistance sont présentées figure 107. Globalement, on constate que l'aide à la perception arrive en tête (63.8%), suivie de près par l'aide à la décision (59.8%), ces deux aides étant jugées comme moyennement utiles. Pour ce qui concerne l'insertion automatique, les participants la jugent en moyenne plus modérément utile avec seulement 38.4%.

7.5.2.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, il n'apparaît pas de différences significatives, même si les valeurs d'utilité perçue collectées auprès des femmes sont systématiquement supérieures (entre 11 à 17% de plus) aux jugements masculins.

7.6 Changements de voie : Difficultés et Besoins d'aide

7.6.1 Difficultés rencontrées pour les changements de voie

Concernant les changements de voies, nous avons demandé aux participants d'évaluer la difficulté de cette manœuvre dans deux contextes différents : en milieu urbain ou sur voies rapides, comme sur le périphérique ou l'autoroute (figure 108).

Items	Questions: Difficultés en changement de voie (Jamais=0 / Toujours=100)
C9	Difficultés changement de voie sur autoroutes
C10	Difficultés changement de voie en milieu urbain

FIGURE 108 – Changements de voie : difficultés rencontrées en milieu urbain et voies rapides

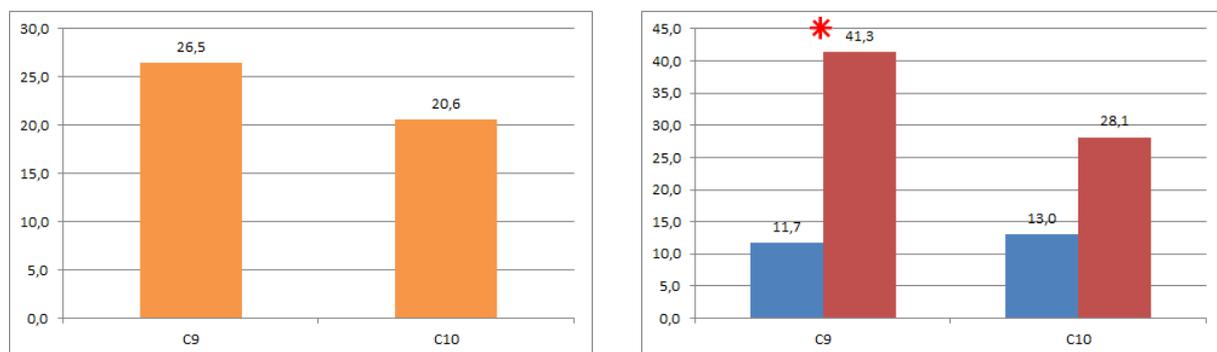


FIGURE 109 – Changements de voie : valeurs moyennes de difficulté en fonction du contexte

7.6.1.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes attribuées par les participants sont présentées figure 109. Là encore, on constate une difficulté modérée déclarée par les participants, autant en milieu urbain (20.6%) que sur voies rapides (26.5%).

7.6.1.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère en revanche les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, il apparaît une différence très marquée concernant la réalisation des changements de voies sur voies rapides. En effet, les femmes jugent cette manœuvre quatre fois plus difficile que les hommes (41.3% contre 11.7%, $p=0.002$).

7.6.2 Aides aux changements de voie : utilité perçue

Comme pour les situations d'insertions sur voies rapides, nous avons proposé 3 types d'assistances aux participants (figure 110).

Items	Questions: Aides au changement de voie (Non=0 / Oui=100)
C11	Aide à la perception en changement de voie : Utilité perçue
C12	Aide à la décision en changement de voie : Utilité perçue
C13	Changement de voie automatique : Utilité perçue

FIGURE 110 – Aides au changement de voie : utilité perçue

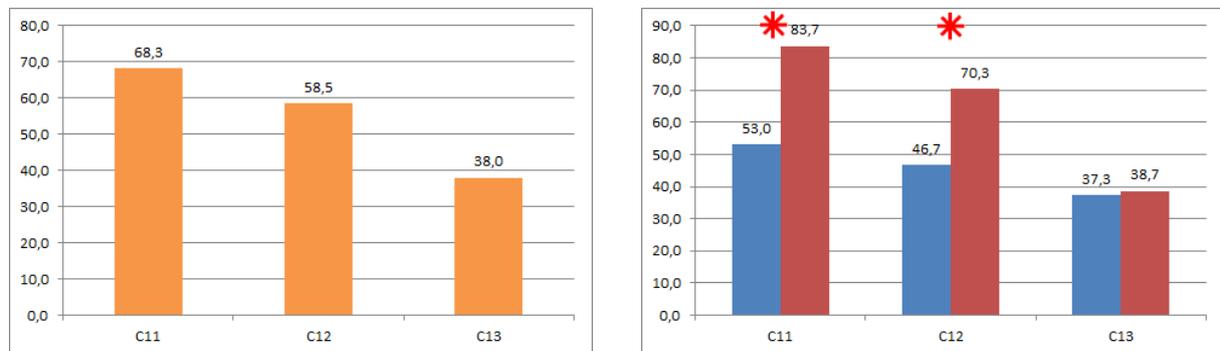


FIGURE 111 – Aides au changement de voie : valeurs moyennes d'utilité perçue

7.6.2.1 Résultats globaux

L'utilité perçue moyenne pour les différents types d'assistance au changement de voie sont présentées figure 111. Les réponses collectées montrent une utilité perçue élevée (68,3%) pour la fonction d'aide au changement en termes de Perception des autres usagers (circulant à l'arrière et sur la voie que doit rallier le conducteur), mais également pour une fonction d'aide à la Décision (58,5%). En revanche, les valeurs d'utilité perçue pour le changement de voie totalement automatisé sont beaucoup plus basses et inférieures à 50% (38% seulement).

7.6.2.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, il apparaît cette fois-ci deux différences significatives. Les femmes évaluent les assistances de type aide à la Perception comme extrêmement utile (83.7% contre 53% pour les hommes, $p = 0.015$), et l'aide à la Décision comme très utile (70.3% contre 46.7% pour les hommes, $p = 0.047$). Dans les deux cas, ces valeurs sont très nettement supérieures à celle proposées par les hommes.

7.7 Automatisation de la conduite : utilité perçue et acceptabilité

Une dernière thématique abordée sous la forme de questions concernait les attentes des participants (souhait de possession, utilité perçue et acceptabilité) de différentes fonctions d'automatisation de la conduite, en allant de la boîte de vitesses automatique au véhicule tout automatisé.

7.7.1 Items proposés

Pour cette section, 13 items ont été proposés aux participants (figure 112).

Items	Question : Automatisation - Acceptabilité et Utilité Perçue (Non=0 / Oui=100)
A0	Acceptabilité delegation de la conduite au véhicule
A1	Boite automatique : Utilité Perçue
A2	Boite automatique : Possession
A3	Boite automatique : Souhait
A4	Parking automatique : Utilité Perçue
A5	Parking automatique : Acceptabilité
A6	Parking automatique : Souhait
A7	Maintien dans la voie automatique : Utilité Perçue
A8	Maintien dans la voie automatique : Acceptabilité
A9	Maintien dans la voie automatique : Souhait
A10	Véhicule autonome : Utilité Perçue
A11	Véhicule autonome: Acceptabilité
A12	Véhicule autonome : Souhait

FIGURE 112 – Automatisation : souhait, utilité perçue et acceptabilité

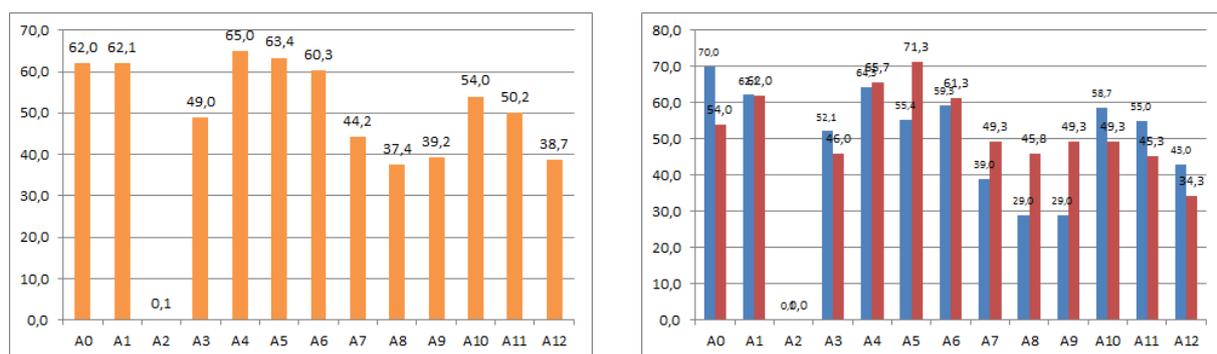


FIGURE 113 – Utilité et acceptabilité moyennes des fonctions d'automatisation de la conduite

7.7.2 Résultats globaux

Les valeurs moyennes sont présentées figure 113. Concernant la boîte de vitesse automatique, 2 participants sur 30 en possèdent une, qu'il utilise en permanence. On observe que l'acceptabilité de la délégation de la conduite au véhicule est favorable pour 62% de participants. Concernant

7.7. Automatisation de la conduite : utilité perçue et acceptabilité

l'automatisation du véhicule, le parking automatique apparait comme l'aide la plus utile (65%), la plus acceptable (63,4%) et la plus souhaitée par les séniors (60,3%). Vient ensuite, la boîte automatique jugée utile à 62,1% et souhaitée à 49%. Pour le véhicule autonome, il est perçu comme utile à 54%, accepté à 50,2% et souhaité à 38,7%. Enfin, le maintien dans la voie automatique montre des pourcentages plus faibles avec une utilité pour 44,2%, accepté pour 50,2% et souhaité pour 39,2%.

7.7.3 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, aucune différence significative n'apparait.

7.8 Interaction avec les autres usagers

Afin d'étudier les difficultés rencontrées par les conducteurs âgés sur la route lors en terme d'interactions avec les autres usagers de la route, nous avons demandé au participants de juger des problèmes que leur posaient (ou non) 6 catégories d'usagers. Parmi les catégories proposées aux participants (figure 114), 3 groupes correspondaient à des usagers vulnérables, motorisés (motocyclistes) ou non (cyclistes et piétons), et 2 autres groupes concernaient des véhicules au gabarit très imposant : les camions et les bus. En complément, et afin de disposer d'une valeur de référence, nous avons également introduit une 6ième catégorie, correspondant aux autres conducteurs de voitures.

Items	Questions: Difficultés à interagir avec les autres usagers (Non=0 /Oui=100)
R1	Motocyclistes
R2	Cyclistes
R3	Piétons
R4	Camions
R5	Bus
R6	Autres voitures (valeur de référence)

FIGURE 114 – Difficultés d'interaction avec les autres usagers

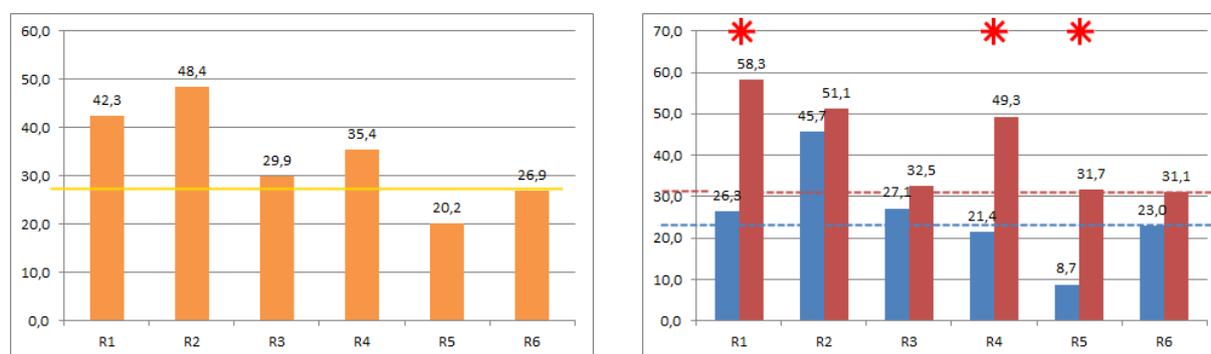


FIGURE 115 – Difficultés moyennes d'interaction avec les autres usagers

7.8.1 Résultats globaux

Les données collectées permettent d'établir une hiérarchie des difficultés, en fonction de ces différentes catégories d'usagers considérées (figure 115).

A partir de la valeur de référence (26,9% correspondant aux autres voitures), on constate en effet que les participants éprouvent majoritairement plus en difficulté lors de leurs interactions avec quatre catégories d'autres usagers (comparativement aux valeurs collectées pour le groupe « autres conducteurs de voiture ») : les cyclistes, les motocyclistes, les camions et enfin, les piétons. Les interactions avec les cyclistes apparaissent comme les plus problématiques pour les séniors (valeur de difficulté attribuée de 48,4%), suivie de très près par les motocyclistes (42,3%). Viennent ensuite les camions (35,4%) et, dans une moindre mesure, les piétons (avec un pourcentage relativement proche de celui collectés pour les autres conducteurs de voiture ; 29,9.

versus 26,9%). Enfin, ce sont les interactions avec les bus qui posent ici le moins de difficultés à nos participants (20,2%).

7.8.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les différences entre les Hommes et les Femmes, il apparaît cette fois-ci trois différences significatives. En effet, les interactions avec les motocyclistes présentent beaucoup plus de difficultés pour les femmes (58,3%) que pour les hommes (26,3%). Il en est de même pour les interactions avec les camions (49,3% pour les femmes contre 21,4% pour les hommes) et avec les bus (31,7% pour les femmes contre 8,7% pour les hommes).

Si l'on considère à présent ces résultats en termes de hiérarchies des difficultés articulées autour de la valeur de référence incarnée par la catégorie autre conducteurs de voiture, une autre différence d'importance entre les hommes et les femmes mérite d'être soulignée. Alors que pour les conducteurs masculins les cyclistes apparaissent comme le principal groupe d'usagers de la route véritablement source de difficulté, les femmes éprouvent quant à elles de plus gros problèmes avec 3 catégories d'usagers : les cyclistes, certes, mais aussi les camions et surtout les motocyclistes, qui forment la catégorie la plus problématique du point de vue de notre échantillon féminin.

7.9 Incivilité des autres usagers : types et contextes

Une autre dimension investiguée durant les Focus Group concernant les interactions avec les autres usagers portait sur les incivilités d'autrui, à l'égard de nos conducteurs.

7.9.1 Types d'incivilités

En matière d'incivilité de la part d'autrui à l'égard de nos conducteurs, nous avons retenu 6 types distincts (figure 116). Ces types de manifestations correspondent à des comportements de conduite jugés et perçus - par nos conducteurs âgés - comme la manifestation d'un mécontentement d'autrui à leur égard : klaxon, appel de phares, queue de poisson, suivi pressant, dépassement agressif, ou toute « manifestation d'humeur » (ex. geste de la main, insultes ou toute autre manifestation de mécontentement).

Items	Question : Incivilité des autres usagers (à votre égard) (Non=0 /Oui=100)
R8	Coup de klaxon
R9	Suivi proche
R10	Appels de phares
R11	Queue de poisson
R12	Dépassement agressif
R13	Manifestation d'humeur

FIGURE 116 – Types d'incivilités en provenance des autres usagers

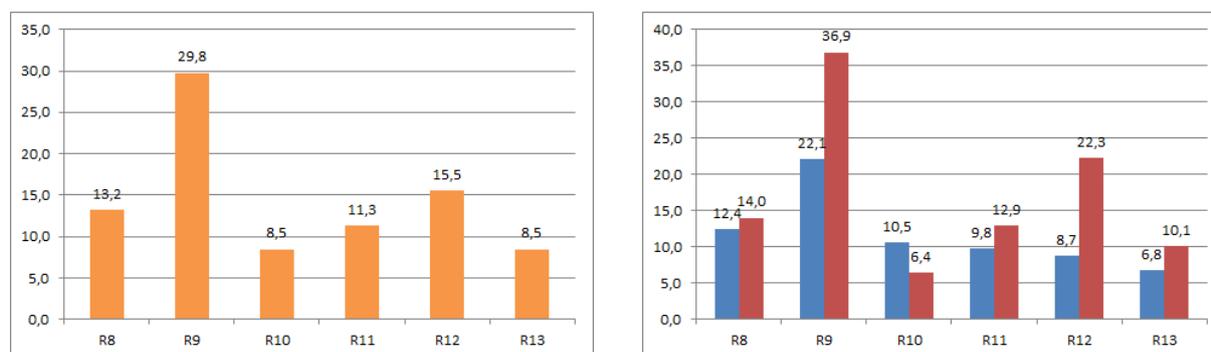


FIGURE 117 – Valeurs moyennes par types d'incivilités d'autrui

7.9.1.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes sont présentées figure 117. Le suivi proche est la manifestation d'incivilité la plus souvent évoquée avec 29,8% ; apparaît ensuite le dépassement agressif (15,5%). Le coup de klaxon et la queue de poisson arrivent derrière avec respectivement 13,2% et 11,3%. Plus faiblement, mais à parts égales, les appels de phares et les manifestations d'humeur sont relevés pour 8,5%.

7.9.1.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, aucune différence significative n'apparaît. Toutefois, on notera que le dépassement agressif (22,3% contre 8,7% pour les hommes) et le suivi jugé pressant (36,9% pour les femmes contre 22,1% pour les hommes) sont plus souvent évoqués par les participantes. Contrairement aux appels de phares qui, bien que rares, sont un peu plus fréquemment évoqués par les hommes que par les femmes (10,4% contre 6,4%).

7.9.2 Contextes de survenue des incivilités d'autrui

Une autre série de 7 items portait sur les contextes d'occurrence de ces incivilités, susceptibles de révéler (via les réactions d'autrui) des difficultés rencontrées et/ou des erreurs commises par nos conducteurs âgés dans le cadre de situations de conduite particulières (figure 118). Le premier item concerne un jugement, de la part autrui, d'une vitesse trop basse de notre participant. Les autres items concernent des manœuvres de conduite spécifiques, telles que les changements de voie ou le franchissement d'intersections. Parmi les intersections, nous avons isolé le franchissement d'un rond-point, l'attente d'un créneau d'insertion dans une intersection, l'engagement dans la traversée d'un flux de circulation en intersection, et le franchissement d'un TàG. Enfin, l'insertion sur voies rapides est intégrée à cette liste.

Items	Question : Contexte de survenue de ces incivilités (Non=0 / Oui=100)
R14	Car ils pensent que vous roulez trop lentement
R15	Lors d'un changement de voie
R16	Lors du franchissement d'un rond-point
R17	Lorsque vous attendez pour traverser une intersection
R18	Lors de la traversée d'une intersection
R19	Lors d'un tourne-à-gauche en intersection
R20	Lors d'une insertion sur voies rapides

FIGURE 118 – Contextes de survenue d'incivilités en provenance d'autres usagers

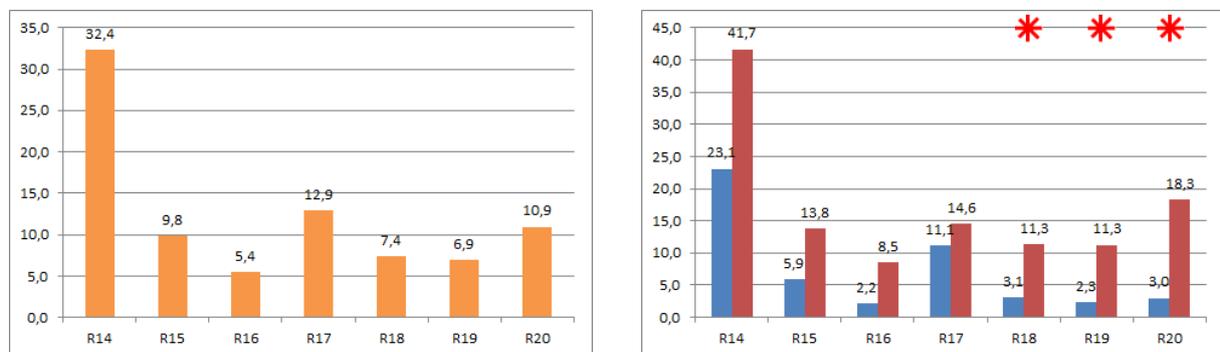


FIGURE 119 – Valeurs moyennes par contextes des incivilités d'autrui

7.9.2.1 Résultats globaux

Les valeurs moyennes sont présentées figure 119. L’item R14 se détache nettement des autres situations d’incivilité. En l’espèce, cet item porte plutôt sur le motif que sur le contexte d’occurrence des incivilités à leur égard, appréhendé par nos participants comme une réaction d’autrui face à leur vitesse de conduite, jugée trop lente (32,4%). Viennent ensuite les situations d’attente en intersection (12,9%), les insertions sur voies rapides (10,9%) et les manœuvres de changements de voie (9,8%) qui sont des situations pour lesquelles nos participants indiquent quelques incivilités à leur égard. En revanche, la traversée d’un rond-point (5,4%) ou d’une intersection (7,4%), ainsi que le tourne-à-gauche en intersection (6,9%) sont des conditions moins fréquemment identifiées par nos participants comme contexte d’apparition d’incivilités de la part d’autrui.

7.9.2.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l’on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, trois différences significatives apparaissent. L’insertion sur voie rapide est plus reconnue comme contexte de survenue d’incivilités par les femmes (18,3%) que par les hommes (3,0%). Il en est de même pour la traversée d’intersection et le tourne-à-gauche en intersection, qui sont évaluées à 11,3% par les femmes, contre respectivement 3,1% et 2,3% par les hommes.

7.10 La répartition des ressources chez les conducteurs âgés

Cette question faisait l'objet de la dernière partie des sessions de Focus Group. Les participants devaient répartir le pourcentage de ressources qu'ils estiment consacrer aux différentes dimensions impliquées en conduite (tableau 35), d'abord sur un itinéraire familier, puis sur un itinéraire non familier ensuite. La répartition était faite en premier lieu pour les items B1 à B6, avant de répartir ensuite l'ensemble des ressources allouées à B5 (ie. interaction avec les autres véhicules) entre différentes sous dimensions (percevoir les autres - B51, comprendre leurs intentions - B52, prendre des décisions - B53 et agir en conséquence - B54).

TABLEAU 35 – Dimensions de la conduite pour lesquelles les ressources sont à répartir

Items	Intitules
B1_F/NF	Navigation (recherche ou suivi d'itinéraire)
B2_F/NF	A contrôler votre vitesse
B3_F/NF	A contrôler votre trajectoire (position dans la voie)
B4_F/NF	Observer et Comprendre l'Infrastructure routière (panneaux, règles de priorités, voies)
B5_F/NF	A Interagir avec les autres véhicules (NOTE GLOBALE)
B51_F/NF	dont Percevoir et Observer les autres véhicules
B52_F/NF	dont Comprendre leurs Comportements / Intentions
B53_F/NF	dont Décider de vos Réactions
B54_F/NF	dont Réaliser vos Manœuvres
B6_F/NF	Penser ou Faire autre Chose (écouter la radio, songer à d'autres choses, téléphoner, etc.)

7.10.1 Sur un itinéraire familier

La figure 120 présente les valeurs moyennes attribuées par les participants pour un déplacement sur un itinéraire familier.

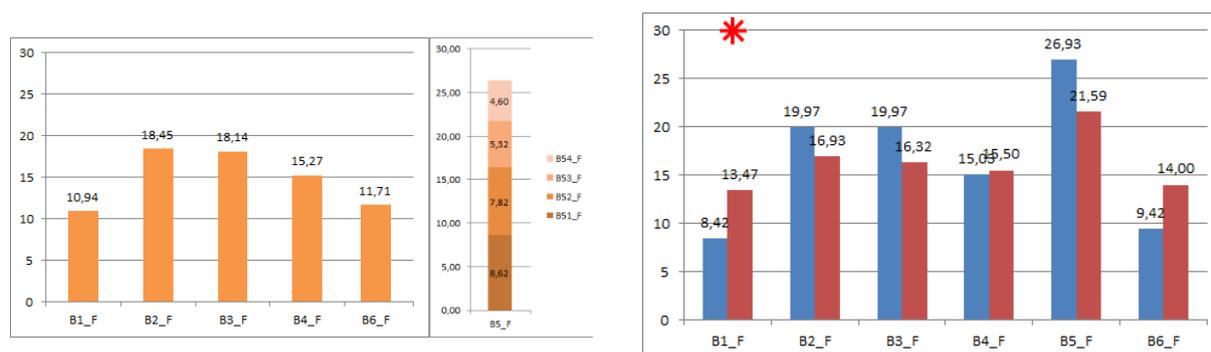


FIGURE 120 – Répartition moyenne des ressources - Conduite sur un itinéraire familier

7.10.1.1 Résultats globaux

En moyenne, sur un itinéraire familier, la composante globale d'interaction avec les autres véhicules est la plus coûteuse, représentant plus du quart des ressources mobilisées. Si l'on détaille ces sous-composantes, c'est la détection des autres véhicules qui prime (8.6%), suivi de près par l'interprétation de leurs comportements et de leurs intentions (7.8%). La prise de décision et

la mise en œuvre des manœuvres sont relativement peu coûteuse, sollicitant environ 5% des ressources pour chacune de ces composantes. La composante de contrôle et de régulation de la vitesse arrive à la seconde place en terme de coût (18.5%), ex-aequo avec le contrôle de sa trajectoire (18.1%). Vient ensuite l'analyse de l'infrastructure avec 15.3%. Les tâches secondaires ne sont pas en reste avec plus de 11% de ressources allouées. On trouve enfin la tâche de navigation (suivi d'itinéraire) qui représente quasiment 11%.

7.10.1.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, aucune différence significative n'apparaît.

7.10.2 Sur un itinéraire non familial

La figure 121 présente les valeurs moyennes attribuées par les participants pour un déplacement réalisé cette fois-ci sur un itinéraire non familial ; valeurs qui sont comparées aux résultats obtenus pour un itinéraire familial dans la section suivante.

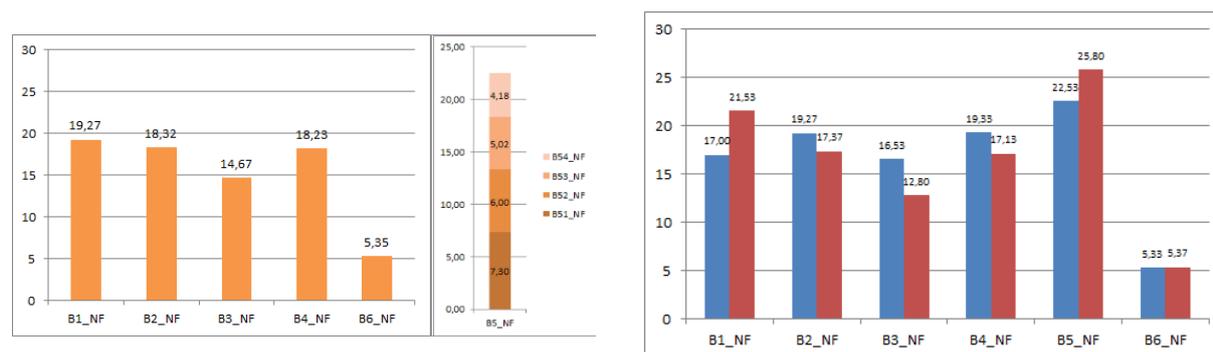


FIGURE 121 – Répartition moyenne des ressources - Conduite sur un itinéraire non familial

7.10.2.1 Comparaison globale itinéraire familial versus non familial

La figure 122 présente les valeurs moyennes pour les différentes sous tâches de conduite, en fonction de la nature familière ou non de l'itinéraire. La composante Navigation est évidemment plus importante lors d'un itinéraire non familial. Par conséquent, les ressources allouées aux tâches secondaires n'ayant pas trait à la conduite sont par conséquent plus réduites dans le cas d'un itinéraire non familial. En revanche, cette allocation de ressource supérieure sur la composante de navigation, sur un itinéraire non familial, affecte négativement l'allocation de ressources à la tâche d'observation des autres usagers (B51), ainsi qu'à l'analyse et la compréhension de leurs comportements (B52).

7.10.2.2 Comparaison Hommes-Femmes

Si l'on considère à présent les comparaisons entre les Hommes et les Femmes, la seule différence significative qui apparaît concerne les ressources allouées à la navigation. En effet, sur un itinéraire

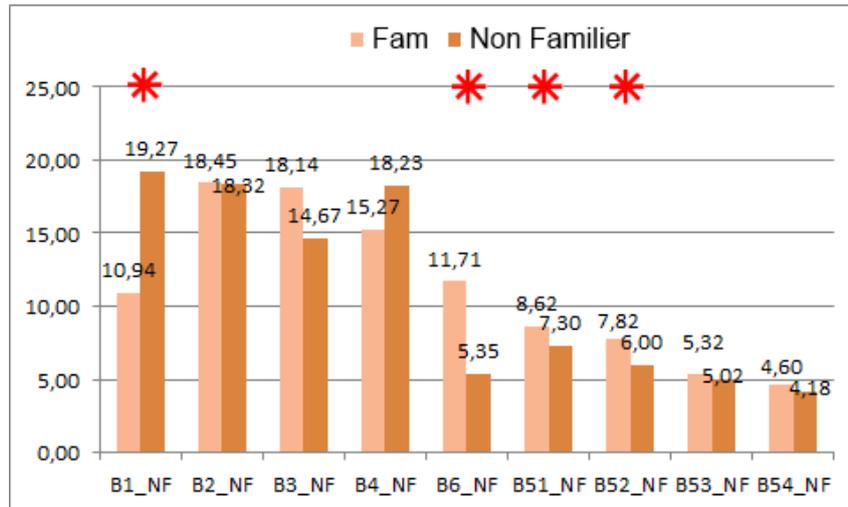


FIGURE 122 – Comparaison de la répartition moyenne des ressources, itinéraire familial versus non familial

familier, les femmes consacrent plus de ressources au suivi de l'itinéraire que les hommes (13,5% contre 8,4%, $p=0.023$).

7.11 Discussion des résultats et spécifications pour le monitoring

Dans ce chapitre, nous avons abordé les questions de « difficultés rencontrées au volant par les séniors » et de « besoins et attentes en matière d'assistance à la conduite » à travers une centaine d'items, tous appréhendés au moyen d'échelles de Likert identiques, permettant de collecter des valeurs de réponse comprises entre 0 à 100%. L'enjeu de cette section de discussion est de produire une vue d'ensemble synthétique concernant cette masse de résultats. Pour ce faire, nous allons nous appuyer sur les 2 items utilisés de façon récurrente pour la plupart des thématiques discutées durant les Focus Group : les jugements de « difficulté » et les valeurs « d'utilité perçue » des systèmes d'aide à la conduite. Ainsi, sur la base de ces 2 items transversaux, il sera possible d'établir des hiérarchies inter-dimensionnelles, en termes de difficultés rencontrées comme d'utilité des aides.

Afin d'harmoniser nos analyses, nous allons utiliser une table de correspondance (figure 123), permettant la mise en perspectives des réponses collectées auprès de notre 30 conducteurs durant les Focus Group.

Difficulté de Conduite	Valeurs Echelles		Besoins / Utilité Aide
	De 0	à 20 % [
Faible	De 0	à 20 % [Faible
Modérée	De 20	à 40 % [Modérée
Moyenne	De 40	à 60% [Moyenne
Elevée	De 60	à 80% [Elevée
Forte (extrême)	De 80	à 100%]	Forte (extrême)

FIGURE 123 – Table de correspondance entre le code couleur et les valeurs numériques

Cette table se compose de 5 niveaux hiérarchiques (posés de 20 en 20), allant de « faible » à « fort », et en passant par « modéré », « Moyen » et « Élevé ». Ainsi, par exemple, pour une valeur de Difficulté (de conduite) ou d'Utilité (de l'aide) inférieure à 20%, nous conviendrons que cette Difficulté ou cette Utilité sont très « Faibles ». A l'inverse, les valeurs supérieures ou égales à 80% seront considérées ici comme extrêmement « Fortes ». Le rouge est utilisé pour renforcer l'idée d'une difficulté Forte (et par conséquent un besoin en aide qui serait faible). Le vert est utilisé pour renforcer l'idée d'un besoin en aide qui est Fort (et donc d'une difficulté Faible).

7.11.1 Discussion concernant les difficultés rencontrées en conduite

La figure 124¹ représente l'ensemble des valeurs de « difficultés rencontrées durant la conduite » collectées auprès des 30 participants (15 hommes et 15 femmes, dont les moyennes respectives sont également représentées).

Organisée par ordre croissant, cette figure permet de hiérarchiser les difficultés de conduite, telles qu'elles sont appréhendées par notre échantillon de conducteurs. Au sommet de cette hiérarchie apparaissent les valeurs collectées pour l'item de « préoccupation concernant le respect des limitations de vitesse », qui recueille plus de 75,5%. A l'autre extrémité, on retrouve la tâche de navigation qui ne présente aucune difficulté pour nos participants (3,3%), du moins lorsqu'elle est réalisée sur un itinéraire familier.

Si l'on applique à présent la décomposition hiérarchique en 5 niveaux de notre table de correspondance, seule **la préoccupation induite par le respect des limites de vitesse** apparaît ici comme une difficulté « **Élevée** » (75,5%), et ceci est vrai pour l'ensemble de nos participants, hommes et femmes.

Dans la catégorie des difficultés dites « **Moyennes** » (i.e. sensibles, mais non critiques ; entre 40 et 60%), 4 items apparaissent : deux dimensions liées aux difficultés rencontrées dans les **interactions** avec 2 groupes d'usagers - les **cyclistes** (48,4%) et les **motocyclistes** (42,3%) - et 2 dimensions liées à la vitesse : les difficultés ou **doutes** sur la vitesse concernant certains tronçons routiers (42,1%) ainsi que les difficultés rencontrées pour le **respect des limitations** de vitesse dans les **zones à 30 km/h** (dont la valeur moyenne est très proche des 40%, bien qu'inférieure d'un demi-point). Pour l'un de ces 4 items, une forte disparité (la seule qui soit statistiquement significative parmi ce bloc) apparaît entre hommes et femmes : les motocyclistes posent 2,2 fois plus de difficultés aux femmes (58,3%) qu'aux hommes (26,3%).

Dans la catégorie des difficultés dites « **Modérées** » (i.e. entre 20 et 40%), on trouve tout d'abord les problèmes liés à l'**interaction avec les camions** (35,5%) puis, posant moins de problèmes, les interactions avec les piétons (29,9%), avec les autres véhicules (26,9%) et enfin les bus (20,2% seulement).

On trouve également ici 4 dimensions en lien direct avec la **tâche de contrôle et de régulation de sa vitesse** : la première porte sur la difficulté du contrôle stricto sensu de la vitesse, à un niveau générique (31,5%), et les 2 suivantes se rapportent aux difficultés éprouvées par les seniors pour adapter leurs vitesses lorsqu'ils circulent sur des tronçons hors agglomération dont les limitations légales fluctuent fréquemment (33,8 et 31,7%). La dernière concerne le respect des limitations de vitesse à 50 km/h (27,5%).

¹Le graphique correspondant à ce tableau est présenté en **annexe H**

7.11. Discussion des résultats et spécifications pour le monitoring

Difficulté	Globale	Hommes	Femmes
Préoccupation respect des limitations de vitesse	75,5	68,30	82,70
Interaction Cyclistes	48,40	45,70	51,10
Interaction Motocyclistes	42,30	26,30	58,30
Doutes vitesse maximale autorisée sur un tronçon	42,10	35,00	49,10
Difficultés pour respecter les zones 30 km/h	39,50	43,30	35,70
Interaction Camions	35,40	21,40	49,30
Suivre et réaliser un itinéraire non familier	34,00	30,00	38,00
Adapter Vitesse fluctuations hors agglomération (90-70-90)	33,80	29,20	38,30
Trouver le Panneaux/Informations de direction	33,40	32,50	34,30
Adapter Vitesse fluctuations voies rapides/autoroutes (130-110-90)	31,70	30,00	33,40
Contrôler la vitesse (vérifier et/ou maintenir) de votre véhicule ?	31,50	33,40	29,70
Interaction Piétons	29,90	27,10	32,50
Insertion voies rapides : Appréhension si trafic dense	29,60	21,90	37,30
Difficultés pour respecter le 50 km/h en Ville	27,50	38,00	17,10
Autres voitures (valeur de référence)	26,90	23,00	31,10
Difficultés changement de voie sur autoroutes	26,50	11,70	41,30
Insertion voies rapides : difficulté à Percevoir les autres	25,60	20,90	30,30
Insertion voies rapides : difficulté à Estimer la vitesse des autres	25,50	14,70	36,30
Identifier les règles de priorité	24,90	17,30	32,50
Insertion voies rapides : Difficultés	24,80	14,50	35,00
(TàG) : Estimer la vitesse des autres	24,70	15,30	34,10
Difficultés pour lire les Panneaux/Informations de direction	22,50	24,30	20,70
(TàG) : Estimer la distance des autres	22,10	12,70	31,50
Insertion voies rapides : difficulté à Estimer la distance des autres	22,00	11,40	32,70
Changement de voie en milieu urbain	20,60	13,00	28,10
Interaction Bus	20,20	8,70	31,70
Franchir une intersection, si pas prioritaires	19,90	9,30	30,50
Atteindre le 90 km/h sur le Périphérique	18,60	10,70	27,10
(TàG) : Percevoir les autres	18,20	9,50	26,80
Respecter le 90 km/h sur Routes de Campagne	17,10	19,30	14,90
Intersection manœuvre de franchissement	15,10	5,70	24,50
Difficultés pour franchir une intersection, en étant prioritaire	14,20	10,70	17,80
Difficultés pour respecter le 90 km/ sur le Périphérique	14,20	15,70	12,80
Respecter le 130 km/h sur Autoroute	10,70	9,90	11,50
Suivre et réaliser un itinéraire familier	3,30	5,30	1,30
MOYENNE	27,21	21,88	32,55

FIGURE 124 – Hiérarchisation des difficultés de conduite

Trois autres difficultés modérées ont trait à la **tâche de Navigation** : les difficultés propres à cette tâche spécifique, lorsqu'elle doit être réalisée sur un itinéraire non familier et sans système d'aide embarqué (34%), les difficultés liées à la recherche (33,4%) de panneaux de direction (toujours sans aide), et dans une moindre mesure, les difficultés liées à leur lecture (22,5%).

Arrivent ensuite les problèmes (4 items) liés à l'**insertion sur voies rapides** (4 items) aux **changements de voie** (2 items). Au sein de ce groupe, la valeur collectée la plus élevée

concerne l'**appréhension** (29,5%) des conducteurs, lorsqu'ils doivent s'insérer sur des voies rapides (comme le périphérique ou les autoroutes urbaines), puis les **difficultés éprouvées** pour réaliser cette manœuvre d'**insertion** du point de vue de la perception des autres véhicules circulant sur la voie rapide (26,5%), de l'estimation de leurs vitesses (25,5%) et de l'estimation de leurs distances (22%). La manœuvre d'insertion au sens strict est pour sa part évaluée à un niveau de difficulté de 24,8%. Pour ce qui est des changements de voie, ceux-ci sont jugés plus difficiles sur autoroutes et voie rapides (26,5%) qu'en zone urbaine (20,6%).

Un dernier groupe de 4 difficultés « Modérées », dont les valeurs sont toutefois relativement basses (comprises entre 19,9 et 24,9%), se rapporte au **franchissement d'intersections**, dont 2 concernent plus spécifiquement la manœuvre de **Tourne-à-Gauche** (TàG). Pour ce qui est des intersections, les difficultés pour l'identification des règles de priorité ont été évaluées à 24,9%, et la manœuvre de franchissement en tant que telle est jugée comme un peu moins difficile (20,2%). Concernant le TàG, les deux difficultés les plus sensibles concernent l'estimation de la vitesse (24,7) puis de la distance (22,1) des autres véhicules. Au regard des résultats de nos observations sur route (35 situations problèmes identifiées) et des données de la littérature concernant les risques d'accidents des seniors en situation de TàG, les valeurs de difficultés collectées auprès de nos conducteurs apparaissent comme relativement faibles. La question se pose de savoir s'il s'agit-là d'une sous-estimation de la difficulté par les seniors, ou d'une sur-estimation de leurs capacités à réaliser cette tâche en toute sécurité.

En matière de comparaison Hommes-Femmes concernant ces difficultés modérées, des différences très marquées apparaissent à plusieurs niveaux, avec des valeurs de difficultés significativement plus élevées pour les femmes. C'est particulièrement le cas pour les interactions avec les camions (jugées 2,3 fois plus problématiques par les femmes), les manœuvres de changement de voie et d'insertion sur voies rapides, ainsi que la tâche de franchissement d'intersection, intégrant les TàG. A l'inverse, le respect des 50km/h en ville est la seule difficulté jugée significativement plus élevée par les hommes que par les femmes (38% contre 17,1%).

Pour toutes les autres dimensions considérées durant les Focus Groups, les difficultés rencontrées par nos conducteurs âgés ont été jugées comme « Faibles » (valeurs inférieures à 20%), voire quasi-nulles (pour la tâche de navigation sur itinéraire familial, par exemple, qui n'obtient que 3,3%). Quatre dimensions méritent néanmoins d'être distinguées ici, car elles obtiennent des valeurs de difficultés supérieures à 20% chez les **Femmes** (i.e. ce sont donc des difficultés modérées pour ces dernières). Il s'agit des difficultés rencontrées pour **atteindre les 90km/h sur le périphérique** (27,1%), lors du **franchissement d'intersections non prioritaires** (difficulté générique de 30,5%, et 24,5% pour réaliser plus spécifiquement la manœuvre de franchissement, contre 9,3% et 4,7% pour les hommes, respectivement), ou pour **percevoir les autres usagers en TàG** (26,8% contre 9,5%).

7.11.2 Discussion concernant les besoins et les attentes en aides

Pour ce qui concerne les besoins et les attentes des conducteurs âgés en matière d'assistance à la conduite, nous allons baser notre analyse transversale sur les différentes valeurs collectées au moyen de l'item « Utilité Perçue », utilisé pour l'ensemble de fonction d'assistance. La figure 125² présente une vue générale des réponses collectées auprès de nos participants pour les 22 dispositifs

²Le graphique correspondant à ce tableau est présenté en **annexe I**

7.11. Discussion des résultats et spécifications pour le monitoring

d'assistance investigués durant les Focus Groups. Comme pour les difficultés, il est possible d'établir ici une hiérarchie entre ces aides, allant de celles perçues comme les plus utiles à celles perçues comme peu, voire pas utiles (en cas de valeur inférieure à 20%).

Le premier résultat d'ensemble qu'il convient de souligner ici réside dans le fait que ces valeurs d'utilité sont, en moyenne, beaucoup plus élevées que les valeurs de difficultés discutées dans la section précédente. Ce résultat est d'importance, car il atteste d'un **véritable intérêt des séniors pour les aides à la conduite**, y compris pour des sous-tâches de conduite pour lesquelles ils n'éprouvent, à priori, pas ou peu de difficultés.

Utilité Perçue des systèmes	Globale	Hommes	Femmes
Vitesse : Informateur	79	83,3	74,7
Navigation : Réalité Augmentée	74,8	72	77,7
Vitesse : Avertisseur	74,7	75,7	73,7
Navigation : Vision Tête Haute	72,2	73	71,3
Changement Voie : Perception	68,3	53	83,7
Navigation : GPS Existants	65,3	69,7	61
Parking AUTOMATIQUE	65	64,3	65,7
TàG : Alerte	64,3	69,3	59,3
Insertion : Perception	63,8	58	69,7
Boite Vitesse : AUTOMATIQUE	62,1	62,1	62
Insertion : Décision (Gap)	59,8	51,3	68,3
Vitesse : Limiteur	59,3	59,3	59,3
Changement Voie : Décision	58,5	46,7	70,3
Vitesse : Régulateur Simple	55,4	63,6	47,1
Vitesse : Régulateur Adaptif	54,5	51	58
TOUT AUTOMATIQUE	54	58,7	49,3
TàG : Perception	52,7	45,7	59,7
TAG : Décision (Gap)	48,8	46,3	51,3
Maintien Voie : AUTOMATIQUE	44,2	39	49,3
Insertion : AUTOMATIQUE	38,4	32,9	44
Change Voie : AUTOMATIQUE	38	37,3	38,7
Moyennes	59,7	57,7	61,6

FIGURE 125 – Hiérarchisation des systèmes d'aide à la conduite par les séniors à partir des valeurs d'utilité perçue

Si l'on considère à présent les 22 dispositifs d'assistance investigués, 10 d'entre eux obtiennent des valeurs d'utilité Élevée (supérieure à 60%), 9 sont jugés d'une utilité dite « Moyenne » (i.e. de 40 et 60 %), et deux seulement obtiennent un score inférieur à 40%.

Parmi les 10 dispositifs d'assistances jugées d'une utilité élevée, on retrouve au moins une fonction d'aide (assortie de modalités d'interaction Homme-Machine particulières) **portant sur**

l'une des principales fonctions d'assistance investiguée durant les Focus Group, à l'exception toutefois du maintien du véhicule dans sa voie (44,2%) et de la conduite totalement automatisée (54% d'utilité perçue), sur laquelle nous reviendrons plus tard.

Les dispositifs d'assistance jugés les plus utiles par les seniors concernent tout d'abord l'aide à la **Navigation**. Les 3 dispositifs d'assistance investigués, se différenciant sous l'angle des modalités de présentation de l'information, recueillent en effet des valeurs d'utilité perçues supérieures à 65%. On notera que les systèmes GPS actuels, que beaucoup de nos participants possèdent déjà et utilisent régulièrement, obtiennent un bon score d'utilité (65,3%), bien qu'inférieur à ceux reçus pour les 2 aides à la navigation « avancées » présentées aux participants durant les Focus Groups, et reposant soit sur la Vision Tête-Haute (72,2%), soit sur le principe de la Réalité Augmentée (75%). Au regard de ces résultats, une conclusion s'impose pour nos propres travaux : le bon résultat obtenu pour les systèmes actuels, surtout considéré au regard du fort taux d'équipement de nos participants, semble attester que les dispositifs d'ores et déjà sur le marché répondent adéquatement aux besoins des conducteurs âgés. Certes, des améliorations sont possibles et seraient de toute évidence très appréciées des seniors, notamment pour faciliter l'accès aux informations de navigation durant la conduite, mais ces améliorations ne relèvent pas du monitoring. En conséquence, **le développement de fonctions de monitoring spécifiquement dédiées à la tâche de navigation ne sera pas traité dans le cadre de nos objectifs de recherche.**

Jugées toutes aussi utiles que la navigation, voire plus pour l'une d'entre elles, les **fonctions d'aide au contrôle et à la régulation de la vitesse sont plébiscitées** par nos participants, du moins s'il s'agit de **systèmes d'information** (l'Informateur, renseignant le conducteur sur vitesse légale autorisée recueille 79%, et l'Avertisseur l'alertant en cas de dépassement recueille 74,7%). Les trois autres dispositifs d'assistance investigués reposant sur l'automatisation partielle de la conduite (i.e. Limiteur, Régulateur Simple et Régulateur Adaptatif) sont jugés moins utiles (respectivement 59,3%, 55,4% et 54,5%). Ce résultat est à mettre en regard avec les valeurs précédemment discutées, indiquant d'une part que le respect des limitations de vitesse était bien une préoccupation majeure des seniors au volant (75%), mais attestant d'autre part un besoin d'aide en information supérieur (i.e. doutes sur la vitesse autorisée et difficultés d'adaptation sur les tronçons aux limitations fluctuantes) comparativement au besoin d'aide en régulation. Au regard de ces résultats, **la conception de fonctions de monitoring de la vitesse se justifie pleinement**, mais sera néanmoins à considérer en complémentarité des dispositifs d'ores et déjà existants. Ainsi, si nous nous préoccupons bien de superviser la vitesse, il ne s'agira pas simplement de monitorer le risque de dépassement des limitations de vitesses, mais aussi de chercher à appréhender le problème sous l'angle de la « sous-vitesse », non investigué durant les Focus Groups en terme d'aide à la conduite, mais clairement identifié lors de l'expérimentation sur véhicule instrumenté, et abordé en termes de difficultés de conduite rencontrées par les conducteurs âgés (incivilité d'autrui en raison d'une conduite des seniors jugée trop lente, ou difficultés rencontrées par certains pour atteindre les 90 km/h sur voies rapides, par exemple).

Une troisième catégorie de systèmes d'aides perçus comme très utiles par nos conducteurs âgés concerne le **changement de voie** (68,3%) et l'**insertion sur voie rapide** (63,8%), plus spécifiquement **sous l'angle de l'aide à la perception des autres usagers circulant sur la voie gauche** à l'arrière du véhicule. On retrouve ici notamment la question de l'angle mort qui préoccupe nombre de nos conducteurs, particulièrement bien identifiée par ces derniers comme un

risque important dans ce type de manœuvre. On notera aussi ici que les valeurs d'utilité perçue proposées par les conductrices, notamment pour l'aide au changement de voie, sont significativement supérieures à celles des conducteurs, attestant d'un plus grand besoin de leur part, surtout si l'on complète cette analyse des jugements de difficultés présentés dans la section précédente (soulignant le même contraste Hommes-Femmes). Au vu des discussions qui se sont tenues durant les Focus Group, la question des difficultés particulières éprouvées par certaines conductrices âgées dans leurs interactions avec les motocyclistes semblent être liée au même problème : les vitesses parfois élevées (sur autoroute, notamment) et les trajectoires de déplacements atypiques des motocyclistes, comparativement aux autres voitures (en ville, notamment), accroissant d'autant les difficultés de détection, notamment lorsqu'il s'agit de réaliser un changement de voie. Au regard de ces résultats, il semble **essentiel** de se préoccuper **d'assister les conducteurs âgés dans les situations de changement de voie**, et notamment dans le **contexte de l'insertion sur voie rapide**, situations qui présentent de réelles difficultés pour les conducteurs seniors, et pour lesquels une partie conséquente de nos participants, **notamment les femmes**, ont attribué une valeur d'utilité perçue de 83,7 % (valeur collectée la plus élevée).

Une quatrième fonction d'assistance obtenant un score d'utilité supérieur à 60% est **l'aide au Tourne-à-Gauche, selon la modalité « Alerte »** (64,3% d'utilité). Les scores d'utilité plus faibles obtenus par les aides au TàG en termes de Perception des autres véhicules circulant à contre-sens (52,7%) et d'aide à la Décision pour choisir un bon créneau d'insertion (48,8%) semblent indiquer que les participants se sentent capables de gérer adéquatement ces situations par eux-mêmes, tout en étant néanmoins conscient des risques d'erreurs possibles, ce dont pourrait les prémunir un système d'alerte. En toute état de cause, au regard des données de la littérature sur les risques spécifiques d'accidents des seniors en TàG, confortés qui plus est par les résultats de nos observations sur route, **la conception de fonction de monitoring pour l'aide au TàG constituera l'un de nos objectifs prioritaire**.

Enfin, pour ce qui est de **l'automatisation de la conduite**, les valeurs d'utilité perçues collectées auprès des seniors montrent des résultats plus contrastés. D'un côté, le parking automatique est jugé comme très utile (65%) de même que la boîte automatique (62,1%) mais, de l'autre côté, le maintien automatique du véhicule dans sa voie (44,2%), de même que l'automatisation des manœuvres d'insertion (38,4%) ou de changements de voie (38%) sont jugés comme moins utiles, révélant un moindre intérêt des seniors pour ces dispositifs d'assistance automatisés. La question de la conduite totalement automatisée mérite en revanche une considération particulière. En effet, si la valeur d'utilité perçue apparaît ici comme moyenne (42%), beaucoup de conducteurs seniors ont néanmoins considéré que cela **pouvait constituer une solution très appropriée pour certaines personnes âgées de leur entourage, ou pour eux-mêmes, au fur et à mesure qu'ils prendraient de l'âge**.

Sur la base de ces résultats et de leurs analyses, venant renforcer et compléter la discussion que nous avons faite dans le chapitre précédent à partir des observations sur route, il va s'agir à présent de s'engager dans la spécification, la conception et le développement de fonctions de monitoring permettant d'assister le conducteur dans le contrôle de son véhicule et la régulation de sa vitesse, le franchissement d'intersection en situation de Tourne-à-Gauche, et les manœuvres de changement de voie et d'insertion sur voie rapide. Ce sera précisément l'objet du prochain chapitre.

Exploitations des résultats pour la conception et le développement de fonctions de Monitoring

Dans ce dernier chapitre, nous allons présenter les travaux réalisés en matière de fonctions de monitoring. A partir du rapprochement des données issues de la littérature sur les difficultés rencontrées par les conducteurs âgés au volant (présentées dans les chapitres 3, notamment) et des résultats obtenus au moyens de nos propres expérimentations, tels qu'ils ont été présentés dans les deux chapitres précédents (conduite sur route et résultats des Focus Group), 3 fonctions de monitoring principales ont été privilégiées dans le cadre de cette thèse :

- Le monitoring pour l'**aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule**, qui forment la composante « de base » de l'activité de conduite (intégrant le contrôle de la position du véhicule dans la voie, la régulation de la vitesse et la gestion du Temps Inter-Véhiculaire) ;
- Le monitoring pour l'**assistance au franchissement d'intersection** qui sera plus spécifiquement traitée ici dans le contexte particulier des manœuvres de **Tourne-à-Gauche** en carrefour urbain ;
- Le monitoring pour l'**aide à l'insertion sur voies rapides** (périphérique), intégrant des sous-fonctions d'analyse concernant le positionnement dans la voie, les manœuvres de changements de voie et de gestion de la vitesse, recombinaisons et enrichies dans le contexte particulier de cette manœuvre d'insertion sur périphérique urbain.

Pour chacune de ces trois fonctions de monitoring, nous adopterons le même plan d'analyse pour présenter notre démarche de conception centrée sur l'humain, organisé selon les 4 sections suivantes, reprenant le phasage de ce même processus de conception :

1. **Spécifications Ergonomiques**, reformulées à partir des besoins et attentes exprimées par les seniors durant les Focus Group ainsi que des difficultés et des erreurs observées au cours de l'expérimentation sur véhicule instrumenté ;
2. **Conception en Ingénierie Cognitive**, visant à identifier des indicateurs de performance et/ou situationnels permettant de juger de l'adéquation de l'activité au regard des conditions de conduite. Nous y proposerons aussi, le cas échéant, des modèles-cadre de l'activité pour permettre l'analyse contextualisée des comportements et des performances des conducteurs âgés ;
3. **Développement en Cognitive**, visant à développer des algorithmes de monitoring pour l'analyse embarquée de l'activité de conduite « située » des seniors et la recherche de ces indicateurs, dans le but de produire un ou des diagnostics de supervision en temps réel ;
4. **Évaluation et perspectives pour l'Auto-mobilité Durable des seniors**, intégrant des exemples de démonstrations à partir de cas issus de nos données expérimentales, ainsi

qu'un bilan critique concernant la faisabilité de ces fonctions de monitoring en embarqué, au regard des technologies d'ores et déjà disponibles sur notre véhicule instrumenté puis, dans une perspective à plus long terme, en vue de concevoir de **futures E-ADAS**.

8.1 Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

Dans cette première section, nous allons tout d'abord nous intéresser aux deux composantes « de base » qui régissent - *in fine* - l'intégralité de l'activité de conduite automobile : le *contrôle latéral*, qui vise à maintenir le véhicule dans sa voie de circulation, et le *contrôle longitudinal*, qui vise à réguler la vitesse du véhicule et à gérer les distances inter-véhiculaires. Dans l'absolu, si tous les conducteurs se maintenaient scrupuleusement dans leur voie de circulation et adoptaient des vitesses et des distances inter-véhiculaires leur permettant de se prémunir de tout risque de collision, alors il n'y aurait pas, ou très peu d'accidents. Toutefois, si cela pourrait s'envisager dans un trafic composé exclusivement de véhicules automatiques respectant scrupuleusement ces principes de sécurité (à l'image des 3 règles de la robotique d'Azimov), cette approche néglige cependant deux aspects essentiels d'un monde routier peuplé d'humains : l'aléa situationnel, imposant parfois aux conducteurs de sortir du cadre strict des règles du code de la route (s'écarter de sa voie pour éviter un obstacle, par exemple), et la nature humaine fondée sur la recherche de stratégies d'optimisations pouvant déboucher parfois sur des comportements critiques et des prises de risques plus ou moins conscientes, auxquels les autres conducteurs devront s'adapter.

Dans ce contexte, l'analyse des activités de contrôle latéral et longitudinal du véhicule doit s'envisager selon deux niveaux de diagnostic complémentaires pour le monitoring. A un premier niveau, il va s'agir d'appréhender les performances de contrôle « dans l'absolu » (sortie de voie plus ou moins conséquente, vitesse adoptée inférieure ou supérieure à la limite légale, ou temps de suivi inter-véhiculaire plus ou moins critique, par exemple), associée le cas échéant à des risques potentiels d'accidents ou de sanctions auxquels s'exposera le conducteur (volontairement ou non), pouvant alors justifier « en soi » le recours à des fonctions de monitoring.

A un second niveau, il va s'agir d'appréhender l'activité de contrôle en fonction du contexte de conduite, auquel le conducteur doit s'adapter, qu'il s'agisse du tracé de l'infrastructure ou du comportement des autres usagers. Dès lors, la question sera de savoir si la performance de contrôle latéral et/ou longitudinal, telle qu'elle est évaluée au niveau de diagnostic précédent, se justifie au regard de conditions de conduite particulières. Il s'agira alors de juger des comportements de régulation mis en œuvre et/ou d'apprécier la performance de contrôle en terme « d'adéquation » ou, à contrario, « d'inadéquation » au contexte (si jamais il s'agit d'un défaut de maîtrise, d'une erreur d'analyse, d'une prise de risque injustifiée, ou d'une mauvaise stratégie de conduite, par exemple). Pour procéder à ce second niveau de diagnostic, il conviendra alors de prendre en compte d'autres paramètres situationnels ou comportementaux (disponibles dans nos données actuelles ou via de futurs dispositifs de mesures), afin d'apprécier la performance de contrôle du point de vue du contexte situationnel de l'activité de conduite.

8.1.1 Monitoring de la position du véhicule dans la voie

Pour évaluer les performances de contrôle latéral de nos conducteurs âgés, nous allons nous baser dans un premier temps sur l'analyse de la *Position du véhicule* dans la voie de circulation.

8.1. Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

Dans un second temps, nous nous intéresserons plus spécifiquement aux manœuvres de *Sorties de Voie* et de *Changement de Voie*.

8.1.1.1 Spécifications Ergonomiques

Au vu des données collectées durant notre expérimentation sur route (cf. 6.8.4) le positionnement de nos conducteurs dans leur voie de circulation a été identifié comme problématique dans certaines situations, notamment celles pour lesquelles les interactions avec la circulation sont les plus critiques (vitesse de circulation élevée sur voies rapides, situations d'interactions avec des véhicules encombrants comme des camions, ou position d'attente en intersection, par exemple). Nous avons par ailleurs observé plusieurs cas de défaut de maîtrise de la position dans la voie, qui ont du reste fait l'objet de remarques spécifiques de la part de la monitrice. En outre, d'autres usagers se sont parfois manifestés auprès de certains de nos conducteurs âgés dans des situations où leurs choix de positionnement et/ou le maintien dans leur voie de circulation étaient inadéquats ou trop hésitants. Si, lors des Focus Group (cf 7.7), nos participants n'ont attribués qu'une valeur d'utilité perçue « modérée » aux systèmes d'aide au maintien automatique dans la voie (notamment en comparaison avec d'autres dispositifs d'assistance), les difficultés objectives rencontrées par certains de nos conducteurs âgés pour contrôler la position latérale de leur véhicule dans certaines conditions de conduite imposent de s'intéresser à cette question sous l'angle du monitoring. D'autant que l'intérêt relatif des séniors pour un dispositif de « maintien automatique » du véhicule dans la voie tel qu'il a été abordé durant les Focus Group peut aussi signifier un rejet de la modalité d'interaction « automatique », et non celui de la fonction d'assistance par elle-même, susceptible en outre de bénéficier à terme de fonctions de monitoring intégrées permettant de mieux répondre à leurs besoins spécifiques.

8.1.1.2 Conception en Ingénierie Cognitive

Pour superviser la position du véhicule dans sa voie de circulation, nous disposons d'un premier paramètre de mesure directement intégré dans la technologie Continental qui équipe notre véhicule : le *Lane Departure Warning* (LDW), susceptible de permettre un niveau de monitoring élémentaire du contrôle latéral. Toutefois, à lui seul, ce paramètre est loin d'être suffisant pour juger de la performance de conduite des séniors. Il convient donc de l'enrichir de niveaux d'analyses complémentaires. Tout d'abord, pour analyser le contrôle latéral, il nous semble important d'appréhender la position du véhicule dans la voie selon un schéma de conduite spatio-temporel de l'activité située, assorti de valeurs « d'excentrations » permettant de discrétiser cette mesure en différents états, ou phases d'activité. La figure 126 donne une vue d'ensemble des différentes excentrations par rapport au centre de la voie que nous nous proposons de considérer.



FIGURE 126 – Différentes positions du véhicule dans sa voie

Une position *Neutre* correspondra au respect des marquages, le véhicule circulant alors de sa voie. Si le conducteur chevauche le marquage latéral (gauche ou droit), on qualifiera la position en *Mordu*. Si la roue du véhicule empiète sur une autre voie, la position sera alors qualifiée en *Coupé*, qui deviendra ensuite un *Franchi*, dès lors que le véhicule empiètera sensiblement sur l'autre voie (de l'ordre de 50 cm), puis enfin un *Nouvelle Voie*, une fois que l'intégralité du véhicule aura franchi la ligne séparant la voie d'origine de la voie de destination.

Au-delà de l'identification de ces états d'excentration, l'analyse de l'évolution temporelle de la position du véhicule dans la voie constitue un reflet de la manœuvre de sortie de voie telle qu'elle est réalisée par le conducteur. Le décours des phases est un premier niveau d'analyse intéressant. Dans le cadre d'une manœuvre de changement de voie pour réaliser un dépassement, par exemple, la position passera successivement de Neutre à Mordu, puis à Coupé et Franchi, avant de passer dans Nouvelle Voie. Une fois dans la nouvelle voie, la position redeviendra Neutre après quelques secondes. A l'inverse, un retour dans la voie d'origine sans atteinte de l'état Nouvelle Voie signifiera, soit un défaut de contrôle (alors corrigé), soit un renoncement du conducteur à réaliser sa manœuvre de changement de voie. En tant que tel, ce diagnostic *a posteriori* (i.e. nécessitant de savoir si l'état nouvelle voie à été ou non atteint) ne permettra pas d'analyser en temps réel l'activité du conducteur, mais il pourrait néanmoins servir d'indicateur - dans le cadre d'un dispositif de monitoring doté de capacités d'apprentissage, pour qualifier la performance de conduite de ce conducteur particulier (conducteur sortant fréquemment de sa voie de circulation, par exemple, ou renonçant régulièrement à des manœuvres de changement de voie), attestant de difficultés récurrentes ou d'un style de conduite potentiellement atypique, voire problématique, qu'il conviendrait alors de monitorer « dans la durée » (en informant le conducteur de ce problème, ou en adaptant des systèmes d'aide à son style de conduite particulier).

Outre le phasage de l'activité défini en figure 126, l'analyse des durées des différentes phases de transition (temps nécessaires pour passer du Mordu au Coupé, du Coupé au Franchi, puis du Franchi à Nouvelle Voie) peuvent constituer des indicateurs de performance, voire de risque, dans le cadre d'une manœuvre de changement de voie, ce que nous allons chercher à apprécier. Dans un autre registre, lorsque le conducteur sort de sa voie sans en changer, l'amplitude de la sortie de voie, combinée avec d'autres paramètres attestant d'un défaut de maîtrise, pourra alors être utilisée pour juger de la difficulté rencontrée ou de la gravité de l'erreur commise par le conducteur. Cependant, pour pouvoir pleinement apprécier les choses à ce niveau, encore faut-il être en mesure de juger de l'adéquation de cette manœuvre au regard des conditions de conduite. C'est précisément ce que vont chercher à diagnostiquer nos fonctions de monitoring décrites ci-dessous, selon trois niveaux d'analyses complémentaires.

8.1.1.3 Développement en Cognitique

Diagnostic de niveau 1 : Monitoring de la Position dans la voie et de l'Excentration

La figure 127 présente le diagramme état-transitions que nous avons défini dans la section précédente sur lequel repose notre premier algorithme de monitoring visant à qualifier les sorties de voie au regard du degré d'excentration du véhicule. Si le *Mordu* excède 10 cm de tolérance, la position est alors qualifiée en *Coupé*. Si le quart de la largeur de la voiture se trouve au-delà du marquage, la position est qualifiée en *Franchi*. Ces différents degrés d'excentration de la voie sont latéralisés, à Droite ou à Gauche. Comme l'indique aussi le diagramme, il est possible, pour

8.1. Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

chaque degré d'excentration, que le véhicule stabilise sa position, voire qu'il retourne dans sa voie initiale, c'est pourquoi les transitions sont également bilatérales.

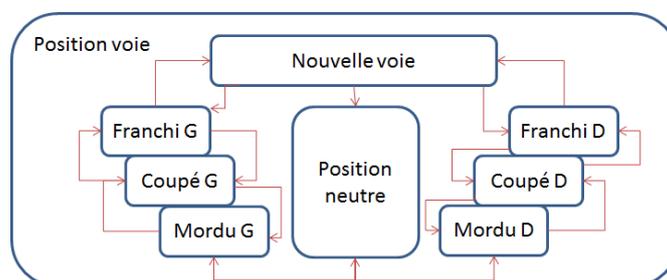


FIGURE 127 – Diagramme états-transitions pour la position dans la voie

Fort de ce premier cadre d'analyse permettant d'évaluer l'ampleur de la sortie de voie, il convient alors de compléter notre algorithme de critères d'analyses visant à distinguer les sorties de voie en fonction de l'intention du conducteur, d'une part, et du contexte de conduite, d'autre part, ce que visent respectivement les niveaux de diagnostic 2 et 3 présentés ci-dessous.

Diagnostic de niveau 2 : Monitoring des Changements de Voie Délibérés

Pour appréhender les sorties de voie au regard des intentions du conducteur, la prise ne compte de l'état des clignotants (à gauche ou à droite) est essentielle, car elle atteste d'une volonté explicite (puisqu'il en fait part aux autres conducteurs) du conducteur de vouloir changer de voie, qu'il s'agisse de s'engager dans un dépassement (ou un rabattement), de suivre son itinéraire, ou de gérer un obstacle situé sur sa voie de circulation (véhicule arrêté ou circulant à contresens¹). Dès lors, il ne s'agira pas ici d'apprécier la position du véhicule dans la voie et son excentration (diagnostic de niveau 1) sous l'angle d'une simple sortie de voie, mais de considérer cette manœuvre comme la première phase de l'activité de changement de voie, dont il va alors s'agir d'apprécier la faisabilité et la dangerosité potentielle, renvoyant cette fois-ci à une procédure de monitoring spécifiquement dédiée à la supervision des changements de voie.

Pour évaluer les risques inhérents aux changements de voie, la mesure des TIV (Temps Inetrvéhiculaires) des véhicules circulant à l'arrière, sur la voie de destination de notre conducteur (sur la gauche ou sur la droite), peut permettre d'apprécier la distance de sécurité permettant de réaliser le changement de voie de façon sécuritaire, ou de juger a contrario de la criticité d'une manœuvre engagée par notre conducteur. Nous ne disposons pas de cette technologie sur notre véhicule, mais des systèmes d'aides assurant cette fonction sont d'ores et déjà disponibles sur le marché (Blind Spot Support). Ce niveau d'analyse peut donc être intégré, au moins de façon théorique, dans nos propres algorithmes de monitoring, en complément de l'usage des clignotants, afin de filtrer ces situations de sortie de voie ainsi jugées comme volontaires (sinon sans risque), et permettant ainsi d'activer de nouvelles fonctions de monitoring de l'activité dédiées plus spécifiquement à l'aide au changement de voie. Cette dernière fonction sera développée en 2015, sur le nouveau véhicule du Continental disposant des capteurs adéquats.

¹Pour être complet et exhaustif, il conviendrait aussi de gérer ici le cas particulier de l'activation des warning (facilement détectable via l'usage d'un bouton d'activation spécifique, et intégré ainsi dans notre algorithme de monitoring) et celui plus délicat, à ce jour non traité, de l'activation involontaire du clignotant, ou de son maintien à l'état actif après un changement de voie ou de direction (problème très fréquent sur les anciens modèles de véhicules, mais beaucoup plus rare sur les véhicules modernes, en raison d'un système de désactivation automatique du clignotant asservi sur l'angle du volant).

Toutefois, les risques de collision lors des changements de voie ne constituent que l'un des deux principaux problèmes observés durant notre expérimentation. Un autre type de situations de sortie de voie avec clignotant actif a donné lieu à des erreurs de conduite similaires de la part de 3 de nos conducteurs âgés, situations qu'il convient par conséquent de chercher à monitorer spécifiquement. Ces trois erreurs se sont produites au même endroit, sur le périphérique, en raison de la présence d'un refuge situé 500 mètres avant la sortie Porte de Croix-Luizet que devaient emprunter nos conducteurs (trajet Aller ; cf. carte présentée en 6.6.3). Pour ces trois conducteurs, ce refuge a été considéré - à tort - comme la voie de sortie du périphérique (sortie signalée sur les panneaux de direction situés à proximité du refuge). Dans ce contexte, s'il s'agit bien de sorties de voie volontaires, il n'en s'agit pas moins d'erreur résultant d'une mauvaise représentation mentale de l'infrastructure, qu'il conviendrait de diagnostiquer via le monitoring. Une première façon de procéder repose sur l'identification de la Bande d'Arrêt d'Urgence, voie située à droite et séparée des autres voies de circulation par une ligne continue, susceptible d'être détectée par des technologies embarquées. Cet espace de conduite, réservé en cas de panne du véhicule (susceptible d'être aussi appréhendée par des capteurs embarqués) ou, à l'extrême, d'obstacles situés sur la voie de circulation imposant une réaction d'urgence pour éviter une collision (détectables sur notre véhicule au moyen des valeurs de TTC et de TIV). Au regard de ces deux derniers paramètres, il n'y avait aucune légitimité pour nos conducteurs à vouloir emprunter la bande d'arrêt d'urgence, et à transgresser ainsi la ligne continue située à leur droite, ce qui peut constituer une première façon de diagnostiquer ces erreurs de conduite. Cependant, une autre solution intéressante consisterait à prendre en compte des données cartographiques, notamment dans l'objectif d'anticiper les risques d'erreurs dans le cadre d'infrastructures où elles se produisent de façon récurrente, comme c'est le cas ici en raison d'un défaut d'aménagement (en terme de positionnement de la signalisation, notamment) susceptible d'induire en erreur certains conducteurs non familiarisés des lieux. À des fins exploratoires, nous avons intégré manuellement ces informations cartographiques dans nos données, et enrichi en conséquence notre procédure de monitoring. Une illustration des résultats potentiels que permettrait cette solution de monitoring sera présentée dans la section évaluation.

Diagnostic de niveau 3 : Monitoring des Sorties de Voie

Si l'on considère à présent les sorties de voie constatées en l'absence de clignotant, elles peuvent toutes indiquer une erreur potentielle, selon que ces sorties de voies sont « légitimes » ou « non légitimes ». Pour procéder à cette partition, nous avons repris les principes de monitoring des risques de sorties de voie, tels qu'ils ont été initialement définis et conçus dans le cadre du projet PARTAGE, consacré précisément à ce problème (voir [Bellet et al., 2012b] et l'annexe J). Derrière ce diagnostic de « légitimité », l'idée générale est de chercher à distinguer des SV engagées par les conducteurs en vue de gérer des risques de collision avec un obstacle (situé sur la voie ou circulant à contresens) en faisant un écart de trajectoire. Il s'agit donc de manœuvres particulièrement sensibles qu'il ne s'agit pas d'entraver, mais au contraire de soutenir, si cela est possible. À l'inverse, les SV peu ou pas légitimes s'observent généralement en l'absence de tout risque de collision (conduite seul, ou en suivi avec une valeur de TTC très élevée), et elles peuvent résulter quant à elles, soit de stratégies d'optimisation des trajectoires (ou du style de conduite) lors du franchissement de virages (débouchant sur une prise de risque plus ou moins conséquente, en fonction de l'amplitude de la SV et de l'endroit du virage où elle se produisent), ou révéler au contraire un véritable défaut de maîtrise qu'il s'agira de diagnostiquer (mauvaise estimation de la courbure d'un virage, si elles se produisent en courbe, ou défaut d'inattention si elle se produisent

8.1. Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

en ligne droite, par exemple). Les fonctions de monitoring développées durant PARTAGE sont ainsi susceptibles de s'appliquer ici, pour le monitoring des conducteurs âgés. Leur transfert a été réalisé, mais ces fonctions de monitoring avaient cependant été exclusivement conçues pour la supervision des manœuvre de franchissement de virages, situations pour lesquelles la technologie de suivi des lignes de Continental, utilisée dans notre expérimentation, ne fonctionne pas très bien. L'enjeu en 2015 sera donc de collaborer avec cet équipementier afin de savoir si l'optimisation de cette technologie pourrait permettre d'appliquer les fonctions de monitoring ainsi transférées, en vue de superviser plus finement les sorties de voies des conducteurs âgés. Pour fiabiliser ces diagnostics, il conviendrait aussi de coupler ces analyses avec des données d'oculométrie, afin de pouvoir diagnostiquer, notamment, des sorties de voie dues à la distraction visuelle du conducteur (lorsque celui-ci regarde sur les côtés, par exemple, ou consulte ses rétroviseurs). Cette option a été explorée dans le cadre de la supervision des manœuvres de changement de voie lors de l'insertion sur le périphérique, sur lesquelles reviendront ultérieurement (via le recodage manuel des stratégies visuelles des conducteurs, en raison du manque de fiabilité de l'oculomètre utilisé durant notre expérimentation).

8.1.1.4 Évaluation et perspectives

Pour nos diagnostics de niveau 1, les paramètres de base que nous utilisons dans nos algorithmes de monitoring du contrôle latéral sont l'état des clignotants (comme critère de filtrage des sorties de voie volontaires) et la position du véhicule dans la voie, obtenue grâce au système de détection des marquages au sol disponible dans la technologie Continental. A partir de la largeur de la voie et de la position du centre du véhicule dans cette voie, nous calculons les positions respectives des roues avant par rapport aux bords de la voie, permettant ainsi de proposer en continu un diagnostic d'excentration en terme de Mordu, Coupé, Franchi, puis Nouvelle Voie, le cas échéant. Dans la mesure où ce premier niveau d'analyse repose sur les mêmes principes que ceux présentés en 6.8.4.2, notre fonction de monitoring permet d'ores et déjà de retrouver l'ensemble des « scores de défaut de maîtrise de la position dans la voie » définis initialement, et reproduit ci-dessous (figure 128).

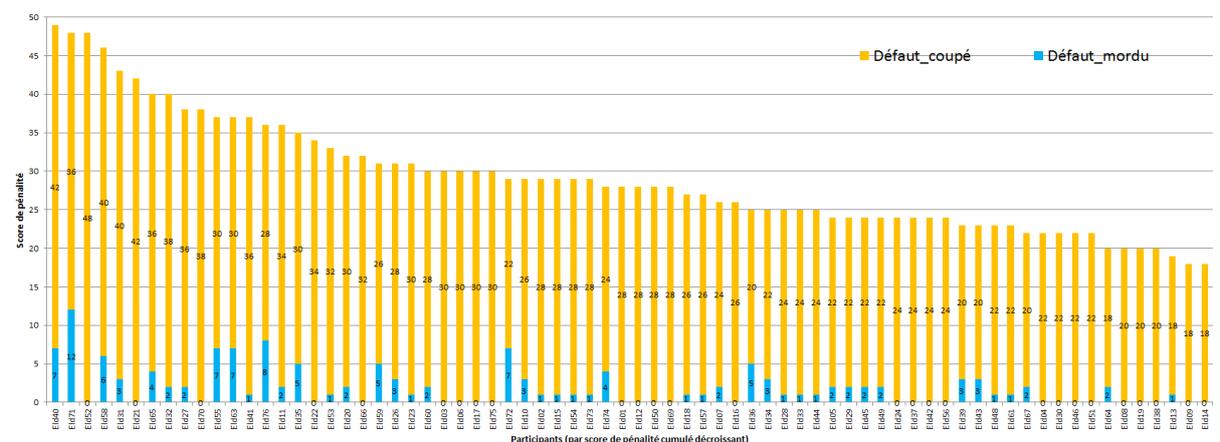


FIGURE 128 – Score de défaut de maîtrise de la position dans la voie sur voies rapide

Bien qu'insuffisant à lui seul pour permettre une analyse en temps réel, ce premier niveau de diagnostic pourrait néanmoins être utilisé à des fins de « profilage des conducteurs », en terme

de difficulté de maîtrise de sa trajectoire, ou en termes de style de conduite, compte tenu des différences interindividuelles qui apparaissent clairement dans ce graphique.

Le système de détection des bords de voie embarqué sur notre véhicule nécessite cependant des marquages nets et de bonnes conditions de visibilité pour la caméra, et ne fonctionne pas très bien en virage, ce qui ne permet pas de disposer en continu de ce paramètre sur l'ensemble de notre parcours. Néanmoins, comme l'atteste la figure 128, nous avons montré un taux de détection tout à fait exploitable sur les voies rapides, ainsi qu'à divers endroits du parcours. Il est donc envisageable de porter cette fonction de monitoring dans le véhicule, en prenant garde de pondérer la fiabilité de l'indicateur qu'elle fournit en fonction de la qualité de la détection. Nous avons également identifiés certaines zones dans lesquelles l'infrastructure suppose un traitement particulier, principalement là où deux voies fusionnent en une seule, ou inversement.

Pour les diagnostics de niveau 2, nous utilisons tout d'abord l'indicateur clignotant pour activer nos fonctions de monitoring dédiées à la supervision des manœuvres de changement de voie délibérées. A ce niveau, il s'agit en premier lieu de pouvoir filtrer ces situations afin de ne pas les traiter comme des sorties de voie (pour lesquelles d'autres algorithmes doivent s'appliquer). Dans un second temps, il s'agira d'apprécier la criticité potentielle de ces changements de voie, au regard des valeurs de TIV concernant les véhicules circulant à l'arrière, sur la voie de destination de notre conducteur. Le développement de ces fonctions de monitoring spécifiquement dédiées à la supervision des changements de voie sera à réaliser en 2015, dans le projet SAFEMOVE, en étroite collaboration avec Continental. A un tout autre niveau, nous avons aussi cherché, à titre exploratoire, à diagnostiquer des erreurs de conduite spécifiques en situation de changement de voie avec clignotants actifs, en s'appuyant, soit sur des traitements de perception (via le repérage des transgressions de lignes continues et l'identification de la Bande d'Arrêt d'Urgence), soit sur des connaissances cartographiques permettant d'anticiper certaines erreurs plus récurrente propres à certaines infrastructures routières, comme c'est le cas sur notre parcours pour la sortie Porte de Croix-Luizet. La figure 129 illustre ce que permettent de réaliser nos fonctions de monitoring, aujourd'hui uniquement implémentées pour ce seul tronçon routier. Une chronique du cas correspondant est présentée en **annexe K**.

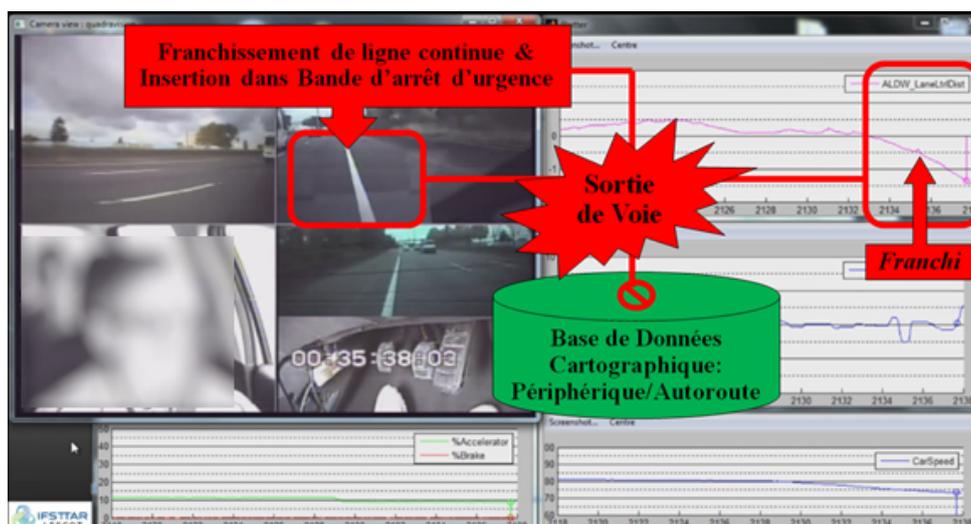


FIGURE 129 – Diagnostic de sortie de voie à partir du paramètre ALDW de Continental, couplé avec notre jugement d'excentration et à des informations contextuelles

8.1. Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

En regard des valeurs d'excentration calculées à partir du diagnostic de niveau 1, il est tout d'abord possible de repérer successivement dans cette séquence les états mordu, coupé, puis franchi avant que le conducteur ne corrige sa manœuvre, attestant ici d'une erreur de conduite particulièrement persistante de la part de notre conducteur. En outre, dans la mesure où cette sortie de voie volontaire vise à rallier la bande d'arrêt d'urgence, d'une part, et ceci en l'absence avérée de tout obstacle sur la voie de circulation initiale (valeur de TTC et de TIV inexistantes), d'autre part, cette sortie de voie peut être aisément qualifiée d'illégitime par nos fonctions de monitoring adaptées de PARTAGE, et pourrait même donner lieu à une anticipation du risque de sortie de voie, modulo la disponibilité de ces connaissances contextuelles au sein d'une base de données cartographiques embarquées.

Enfin, **pour les diagnostics de niveau 3**, les performances de la technologie Continentale utilisées ici pour la détection d'obstacles sur la voie de circulation, et notamment en termes de TTC, ainsi que pour le repérage des lignes en courbe ne sont pas suffisantes pour permettre le transfert à l'identique des fonctions initialement conçues dans le projet PARTAGE. Des optimisations seront réalisées en 2015 dans le projet SAFEMOVE, afin de pouvoir robustifier ces diagnostics, sans garantie qu'il soit possible de réussir à ce niveau.

8.1.2 Monitoring de la vitesse

Le monitoring pour l'aide au contrôle et à la régulation de la vitesse constitue la première dimension à considérer dans le contrôle longitudinal du véhicule. Les résultats des Focus Group attestent d'une réelle préoccupation des conducteurs âgés quant au respect des limitations de vitesse légale. Cette forte préoccupation résulte notamment de la politique de contrôle sanction en vigueur depuis plusieurs années en France, puisque plusieurs de nos participants ont été sanctionnés par des retraits de points sur leur permis pour de petits excès de vitesse. Par ailleurs, les doutes concernant la vitesse maximale autorisée sont fréquents chez ces conducteurs, comme l'indiquent les résultats des Focus Group et les sollicitations de nos participants auprès de la monitrice durant l'expérimentation.

8.1.2.1 Spécifications Ergonomiques

Face à l'expression de ces besoins des conducteurs âgés, il convient d'appréhender la question du monitoring de la vitesse à deux niveaux distincts : du point de vue de la Sur-Vitesse, pour laquelle des besoins en information ont été affirmés de façon explicite par nos participants, et du point de vue de la Sous-Vitesse, dans la mesure où une vitesse de conduite trop lente peut déboucher sur des interférences négatives avec le trafic environnant (i.e. effet entropique), voire sur des comportements agressifs de la part des autres conducteurs à l'égard des seniors (cf. résultats des Focus Group concernant les incivilités d'autrui ainsi que leurs motifs).

Diagnostic de sur-vitesse : Concernant le dépassement de la vitesse maximale autorisée, nos conducteurs ont indiqué durant les Focus Group qu'il s'agissait d'un problème plus prégnant dans trois types d'environnements particuliers : dans les zones limitées à 30 km/h, dans les zones limitées à 50 km/h (principalement pour les hommes), et sur les tronçons routiers présentant des variations fréquentes de la limitation de vitesse. Durant notre expérimentation, nous avons observé relativement peu d'excès de vitesse lorsque nous avons analysé les limitations présentes sur notre parcours de façon agrégée, excepté chez quelques sujets. En revanche, à un niveau

plus local, nous avons observé des vitesses en inadéquation avec certaines phases d’approches d’intersections non prioritaires. Nous gardons cet aspect pour un développement futur, dans la mesure où il nécessite une analyse plus détaillée des données expérimentales. Du point de vue de la conception d’E-ADAS, des systèmes sont d’ores et déjà disponibles sur le marché (fonctionnalité du GPS ou COYOTE par exemple) permettant d’informer le conducteur sur la vitesse légale et de l’avertir en cas de dépassement de cette limitation, mais les diagnostics reposent sur les données cartographiques qui ne sont pas toujours à jour. La fusion de cette donnée avec l’information provenant de la caméra qui détecte les panneaux de limitations de vitesse sur la route pourrait permettre d’obtenir une meilleure fiabilité.

Diagnostic de sous-vitesse : Concernant la pratique d’une vitesse trop basse comparativement au trafic alentour, nous avons observé plusieurs cas potentiellement entropique vis-à-vis des autres conducteurs, ce qui confirme les résultats mis en avant dans certaines études précédentes focalisées sur les conducteurs âgés (comme [Skyving et al., 2009]). Il n’existe pas, à notre connaissance, de dispositifs d’aide à la conduite fondé sur un tel diagnostic. Cependant, en termes de futures E-ADAS, un diagnostic de sous-vitesse ne visera certainement pas à inciter les conducteurs séniors à rouler plus vite. Après tout, s’ils adoptent une vitesse lente, cela procède aussi d’une stratégie d’adaptation qu’il convient de préserver. En revanche, ce diagnostic pourrait servir à deux finalités principales : apprécier, en temps réel, des risques spécifiques auxquels s’exposent potentiellement ces conducteurs séniors, en raison du caractère « entropique » de leur vitesse vis-à-vis de trafic environnant et, d’autre part, en vue profiler ces conducteurs pour mieux adapter par exemple, certaines fonctions d’aide à la conduite au regard de leur vitesse de déplacement généralement beaucoup plus lente, ceci afin d’éviter les conflits critiques et/ou pour leur permettre de mieux gérer certaines de leur manœuvres, malgré ce différentiel de vitesse particulièrement conséquent avec les autres conducteurs.

8.1.2.2 Conception en Ingénierie Cognitive

En matière de fonctions de monitoring de la vitesse, la démarche de conception que nous avons adoptée est relativement simple, puisqu’il s’est agit d’intégrer dans nos algorithmes de supervision les mêmes procédures de calculs d’ores et déjà présentées et discutées dans la section 6.4. Ainsi, les indicateurs que nous avons retenus concernant la sur-vitesse sont le dépassement de la limite stricte de vitesse autorisée et, pour ce qui concerne la sous-vitesse, la pratique d’une vitesse de conduite inférieure de 20% à la limite légale autorisée. Pour juger de cette comparaison, nous pouvons comparer la vitesse du véhicule avec la vitesse maximale autorisée, accessible dans les données cartographiques, ou via les algorithmes de traitement d’image intégrés dans la technologie Continental.

Toutefois, pour juger du caractère entropique des sous-vitesses, ce premier niveau d’analyse ne suffit pas. Il convient tout d’abord d’exclure toutes les phases de transitions justifiant - de fait - une sous-vitesse transitoire (temps nécessaire pour passer de 50 à 90 km/h lors de l’insertion sur le périphérique, par exemple). Mais il conviendra en outre d’apprécier cette sous-vitesse relativement aux des vitesses pratiquées par les véhicules alentours. Pour ce qui est des véhicules situés à l’avant du conducteur (en situation de suivi, notamment), le TIV pourra permettre de filtrer les situations de conduite à basse vitesse imposées par le trafic situé en amont (en cas de ralentissement ou de bouchon, par exemple). A l’inverse, pour le trafic situé à l’arrière, des valeurs de TIV ou mieux, de TTC concernant les véhicules suiveurs (dont nous ne disposons pas

8.1. Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

à ce jour), pourrait permettre d'identifier des risques de collision arrière, ou des potentialités de comportements agressifs ou de dépassements inopinés de la part d'autrui.

8.1.2.3 Développement en Cognitique

Monitoring de la sur-vitesse : A partir de la comparaison entre la vitesse maximale prescrite et la vitesse effective, nous appliquons la logique de dépassement strict pour diagnostiquer une sur-vitesse effective, sanctionnable par les forces de l'ordre et les radars automatiques (problème qui préoccupe tout particulièrement les conducteurs âgés).

Monitoring de la sous-vitesse : A partir de la comparaison entre la vitesse maximale prescrite et la vitesse effective, nous appliquons la logique d'une vitesse de conduite inférieure de 20% à la limite légale autorisée pour diagnostiquer une sous-vitesse. Les phases transitoires d'accélération et de décélération doivent néanmoins être isolées pour un diagnostic plus robuste. Nous fixons donc des seuils pour chaque limitation en dessous duquel nous ne diagnostiquons plus de sous-vitesse. A partir de ce différentiel, nous diagnostiquons simplement la sous-vitesse.

Cette fonction de monitoring de la vitesse a deux niveaux de diagnostic a fait l'objet d'un développement sous la forme de diagrammes états-transitions que nous présentons en figure 130 sous sa forme brute de *Statecharts*.

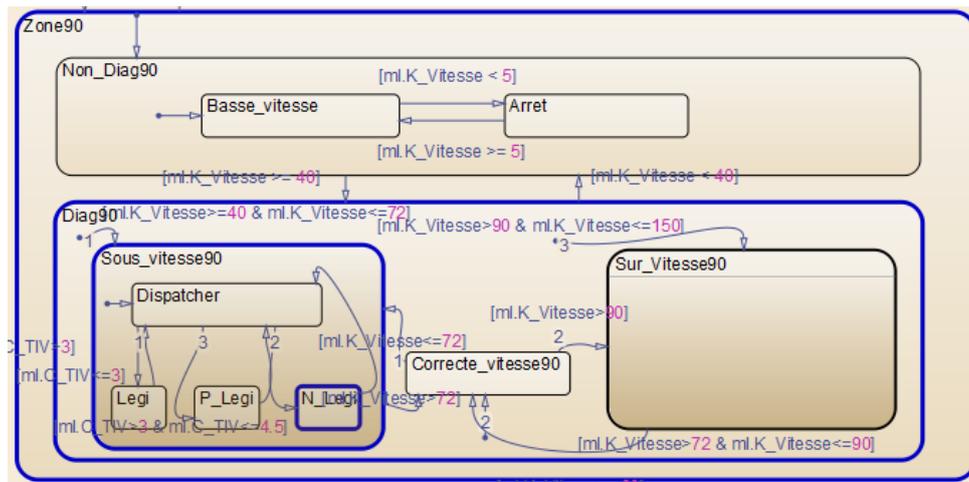


FIGURE 130 – Fonction de monitoring de la sur-vitesse et de la sous-vitesse dans le formalisme des Statecharts de Stateflow

Ces diagrammes d'états du logiciel *Stateflow* (sous-produit de *Matlab-Simulink* présenté en **annexe L**) sont utilisés pour implémenter nos fonctions de monitoring et les tester en condition de rejeu des données.

8.1.2.4 Évaluation et perspectives

Sur la base de ce premier niveau d'analyses, nos algorithmes de monitoring appliqués à la supervision de la conduite des séniors sur le périphérique produisent les mêmes résultats que ceux d'ores et déjà présentés en section 6.6 (reproduits ci-dessous en figure 63).

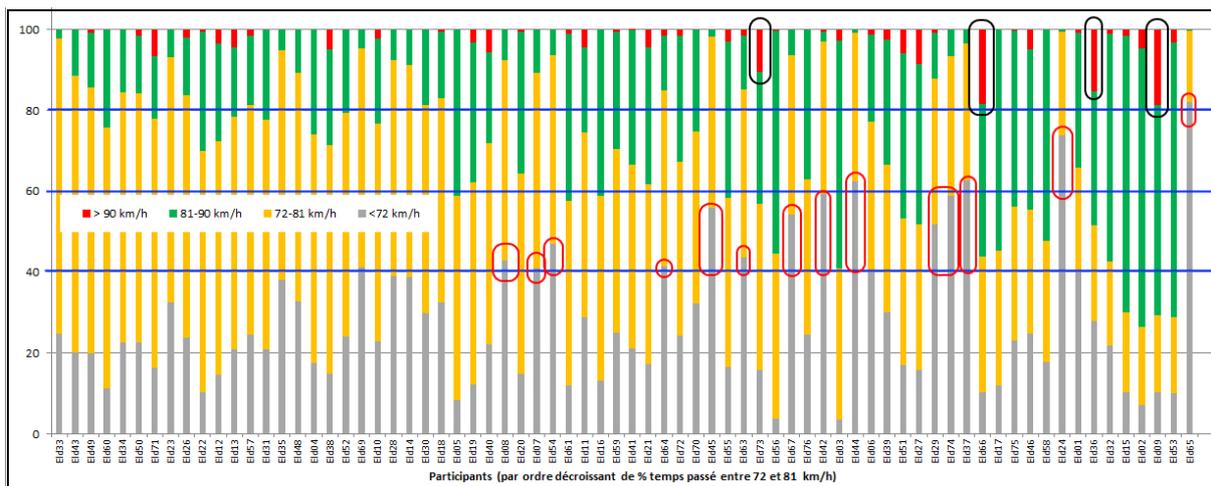


FIGURE 131 – Répartition du temps passé par gamme de vitesse, sur les portions à 90 km/h du périphérique, par participant

Sur ce graphique, on peut constater des excès de vitesse chez 39 participants, avec 2 conducteurs qui passent entre 5 à 10% du temps en sur-vitesse et 4 participants qui le sont durant plus de 10% du temps (cerclés en noir). Ainsi, pour ce qui est des **diagnostics de sur-vitesse**, nos algorithmes auraient pu être directement utilisés ici pour **alerter 39 participants** ayant effectivement dépassé la limite de vitesse légale.

Du point de vue de la **sous-vitesse** (sections grises sur le graphique), il apparait ici que 17 conducteurs ont passé au moins 40% du temps en sous-vitesse, dont 15 y étant entre 40 à 60% du temps. Parmi ces 15 conducteurs jugés lents, 4 d’entre eux passent plus de 70% du temps de conduite sur le périphérique à une vitesse de croisière inférieure à 72 km/h.

Pour pouvoir juger du caractère entropique de ces sous-vitesses, il convient de prendre en compte les informations de Temps Inter-Véhiculaire dans nos algorithmes de monitoring, afin de discriminer les phases dans lesquelles le conducteur roule à une vitesse lente en raison de la présence d’un véhicule lent devant lui. Ainsi, ce n’est qu’en cas de conduite seul ou en suivi de véhicule très éloigné (supérieur à 4 secondes) que nous chercherons à diagnostiquer des sous-vitesses entropiques vis-à-vis de la circulation. A terme, il conviendrait aussi d’utiliser des valeurs de TIV (inférieur à 4 secondes) et de TTC (indiquant des chutes brutales induites par un ralentissement de notre conducteur) vers l’arrière, dans la mesure où l’effet d’entropie concerne en premier lieu ces autres conducteurs. Cette dernière mesure n’étant pas disponible dans nos données actuelles, il n’est pas possible de présenter ici de résultats (bien qu’intégrée dans nos fonctions de monitoring) prenant en compte ce dernier niveau d’analyse.

La figure 132 ci-dessous permet d’illustrer un exemple typique de conduite avec une sous-vitesse « entropique », ici avérée de façon explicite, en raison d’une interférence critique avec un camion suivant notre conducteur.

Dans cette situation de franchissement de virage, notre participant a adopté une vitesse inférieure à 42 km/h sur deux plages temporelles, la seconde - représentée sur la figure 132 - se produisant en sortie de virage (pic de sous-vitesse inférieure à 37km/h). Probablement surpris par cette chute de vitesse d’autant plus imprévisible qu’elle s’est produite en sortie de virage (phase généralement propice à l’accélération), le conducteur du camion situé derrière notre participant

8.1. Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

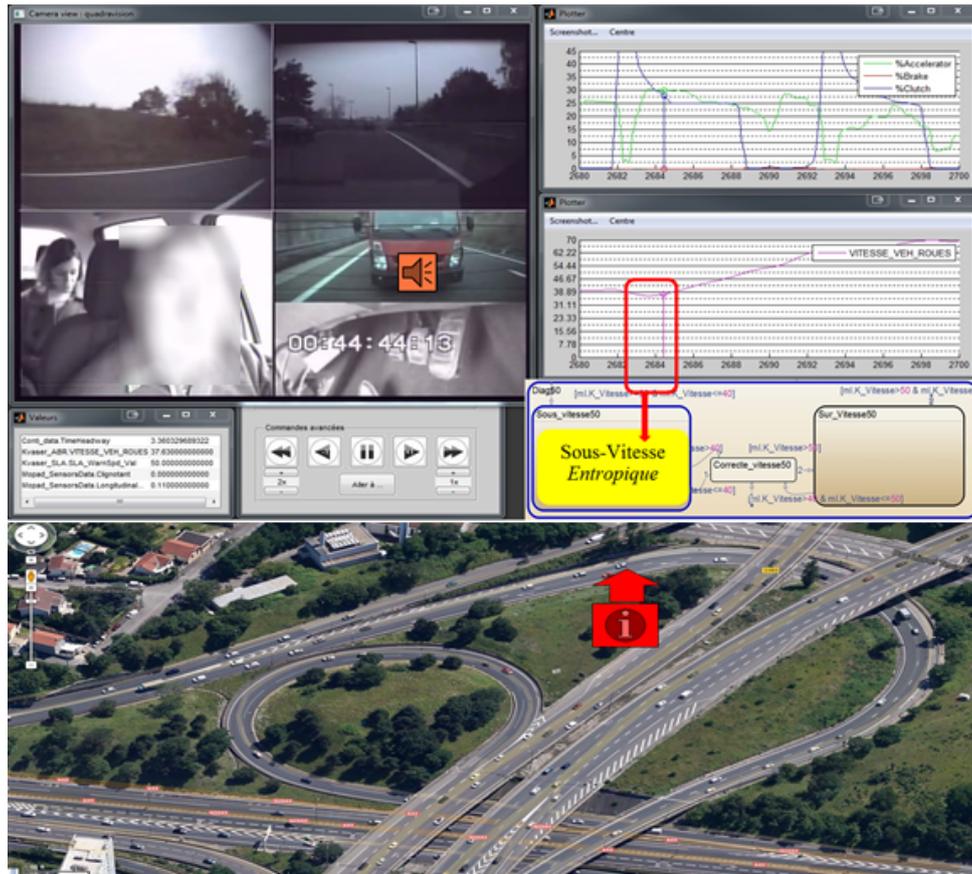


FIGURE 132 – Exemple de diagnostic de sous-vitesse « entropique »

s'est alors rapproché brutalement de notre véhicule avant de freiner pour éviter la collision et de klaxonner pour manifester sa désapprobation à l'égard de la conduite de notre participant.

Au final, pour ce qui est du monitoring de la vitesse et des diagnostics de sur-vitesse, cette fonction est opérationnelle dans notre véhicule instrumenté modulo quelques optimisations concernant les changements de limitations de vitesse. En effet, nous avons observé quelques effets de bords concernant la détection par caméra, par exemple lors du passage à proximité d'une sortie de périphérique où elle détecte systématiquement des variations à la baisse qui sont valables uniquement si le conducteur emprunte la sortie, ou encore lors du suivi de camions qui disposent de disques de limitations de vitesse qui sont confondus avec des panneaux de signalisation. De plus, comme tout conducteur le vit lorsqu'il conduit, certaines fin de limitation ne sont pas présentes dans l'environnement (fréquemment pour les zones 30), et ne peuvent donc pas être détectées par le dispositif. Dans notre cas, nous fonctionnons donc à partir d'une cartographie maison du parcours qui inclut les repères précis de toutes les variations de vitesse légale. Nous n'avons cependant aucun doute quant à la robustesse d'une fusion de données caméra + base de données cartographique. En outre, considérée sous l'angle de futures E-ADAS, les informations collectées durant les Focus Group nous permettent de spécifier plus précisément les attentes de conducteurs seniors : disposer en permanence de l'information quant à la limite légale de vitesse à respecter, et recevoir une alerte en cas de dépassement de celle-ci.

Pour l'évaluation des risques d'entropie en lien avec une sous-vitesse, ce diagnostic n'est pas sans intérêt mais, à l'image de ce que nous soulignons dans nos spécifications ergonomiques

initiales, il n'a pas vocation à être exploité seul, sauf dans une logique de profilage des participants ou à des fins d'adaptation de fonctions d'assistances. Ce n'est qu'en le contextualisant à certaines situations de conduite plus sensibles à ce risque entropique, comme dans le cadre des situations d'insertion sur voies rapides que nous présenterons ultérieurement, qu'il prendra tout son sens.

8.1.3 Monitoring du temps inter-véhiculaire

Le temps inter-véhiculaire est une mesure qui renseigne sur l'espace qu'adopte un conducteur vis-à-vis d'un autre véhicule qui le précède (TIV avant). Le code de la route préconise à ce niveau le respect d'un intervalle de sécurité d'environ 2 secondes. Dans certaines situations, un conducteur doit se positionner entre deux véhicules (changements de voie ou insertions en présence de trafic, par exemple), ce qui amène à considérer l'espace qui sépare sa voiture du véhicule qui le suit (TIV arrière). Nous ne disposons d'aucune mesure concernant ce dernier, mais il est clair qu'un tel paramètre serait très utile, notamment pour apprécier la marge de sécurité qu'adoptent les conducteurs âgés au niveau de l'arrière de leur véhicule dans certaines manœuvres. La proposition de fonction de monitoring qui suit reste néanmoins valable pour un TIV avant, comme un TIV arrière.

8.1.3.1 Spécifications Ergonomiques

Nous avons tiré de la littérature des résultats qui tendent à indiquer que les conducteurs âgés adoptent une marge de sécurité supplémentaire concernant la distance de suivi des véhicules qui les précèdent. Nous n'avons pas spécifiquement interrogé les participants sur cette question lors des Focus Group, mais les observations sur route nous ont permis d'identifier différentes gammes de TIV lors des situations de suivi sur voies rapides, dont des phases pour lesquelles cette distance était très faible, et que nous avons qualifiées de critiques.

8.1.3.2 Conception en Ingénierie Cognitive

A ce niveau, il s'agit d'estimer le TIV qui sépare notre véhicule du véhicule qui le précède. L'atteinte d'un TIV trop faible suppose une régulation de la part du conducteur, soit en levant le pied de l'accélérateur, soit en utilisant le frein. Cet aspect de la régulation dynamique est en cours d'analyse et sort du cadre de cette thèse.

8.1.3.3 Développement en Cognitive

Nous proposons de reprendre les valeurs que nous avons utilisées dans la section 6.7 des observations sur route en distinguant l'horizon libre ou la *conduite seul* (5 à 3 secondes), la phase de *suivi d'un véhicule* (TIV < 3 secondes) qui est elle-même décomposée en *distance sécuritaire* (3 à 1.8 secondes), *proche* (1.8 à 1.2 secondes), *très proche* (1.2 à 0.6) et *critique* (< 0.6 secondes). La fonction de monitoring mono-paramètre se contente d'évaluer ce paramètre en fonction de cette décomposition, tel que nous le présentons figure 133.

Comme l'indique ce diagramme, le temps inter-véhiculaire peut croître au décroître au cours du temps (transitions bilatérales), en fonction du comportement des deux véhicules. Il est également possible, en fonction des situations, d'être dans une phase de conduite seul sans aucun véhicule devant soi, puis de se retrouver brutalement dans n'importe quel état de suivi, lors de

8.1. Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

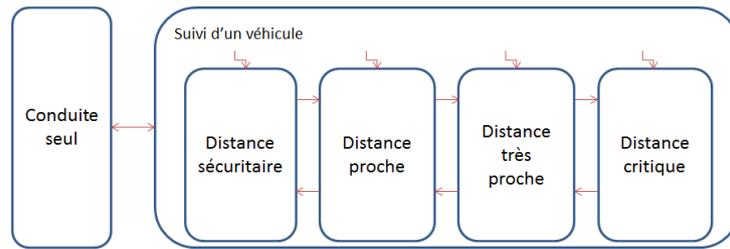


FIGURE 133 – Différentes gammes de TIV

l'insertion inopinée d'un véhicule devant soi par exemple, ce qui est matérialisé par les transitions situées au-dessus des différents états du diagramme.

La figure 134 présente le pourcentage de temps passés par chaque sujet, durant notre expérimentation, en situation de conduite sur voies rapides avec un TIV inférieur à 1,2 secondes (en vert), voire à 0.6 seconde (TIV que l'on peut qualifier de critique, voire dangereux, si l'on se réfère aux données de la littérature comme de la sécurité routière).

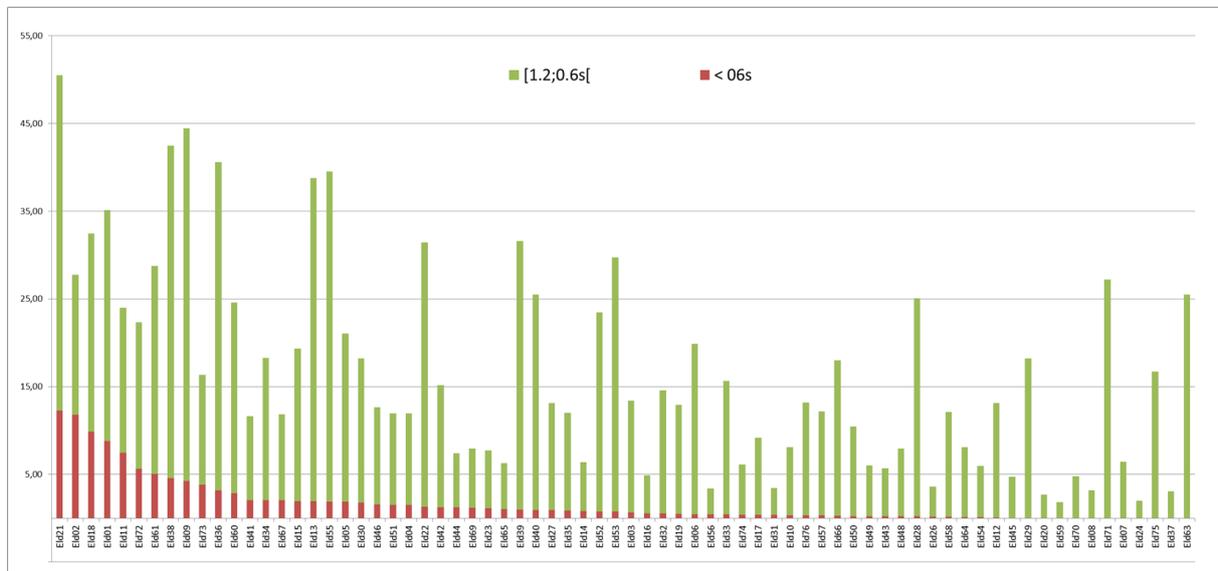


FIGURE 134 – Pourcentage du temps passé en suivi avec TIV inférieur à 1,2 secondes

Ce graphique atteste qu'il s'agit là d'un problème significatif pour les conducteurs âgés, notamment pour les 7 conducteurs situés les plus à gauche du graphique, qui ont adopté des temps de suivi inférieur à 0.6 sec. dans plus de 5% des situations de suivi.

8.1.3.4 Évaluation et perspectives

Le calcul du TIV est très basique puisqu'il est basé sur la vitesse relative entre l'objet détecté à l'avant du véhicule et la distance qui nous en sépare. La réelle difficulté consiste à identifier la cible qui se trouve devant soi. Pour cela, des procédures de filtrage des données ont été appliquées grâce au support de Continental, qui développe des algorithmes temps-réel permettant d'obtenir la valeur de temps inter-véhiculaire à chaque pas de temps. Cette fonction élémentaire est donc tout à fait opérationnelle dans le véhicule instrumenté. Néanmoins, le champ de détection du radar dont nous disposons ne nous permet pas d'envisager la bonne détection des objets se

trouvant devant le véhicule dans des portions trop courbées, le diagnostic sera donc d'autant plus fiable que la portion de route considérée est proche d'une ligne droite. Le diagnostic vise dans un premier temps à qualifier cette distance au regard de notre segmentation. Pour dépasser le niveau du simple diagnostic et s'orienter vers de futures assistances, il faudrait apprécier la légitimité de ce TIV très (trop) court en le combinant avec une analyse des stratégies visuelles pour juger de sa criticité. Ce diagnostic intégré pourrait par exemple permettre de repérer des situations dans lesquelles le TIV devient critique alors que le conducteur est distrait visuellement par exemple, afin d'alerter ce dernier du risque pour qu'il porte de nouveau son attention sur la scène routière et au final, qu'il puisse réguler son TIV d'une façon plus adéquate.

En l'état de nos avancements, nos fonctions de monitoring actuelles, appliquées aux données collectées sur route, nous ont permis d'identifier 107 situations de conduite pour lesquelles 42 de nos conducteurs ont adopté un TIV de suivi critique, inférieur à 0.6 seconde (figure 135).

sujet	nb_inf 1s	nb 1 a 2 s	nb 2 a 3s	nb sup 3	valeur max	sujet	nb_inf 1s	nb 1 a 2 s	nb 2 a 3s	nb sup 3	valeur max
Eld01			2	4	22	Eld36		1		1	10,64
Eld02	3	2		1	6,96	Eld38	1	1		2	6,2395
Eld04				2	4,96	Eld39	3				0,68
Eld05	1			2	4,36	Eld40				1	8,64
Eld09		2	1	2	6,4	Eld46				1	4,24
Eld10		1	1		2,28	Eld49	2				0,87834
Eld11	1			3	6,6	Eld50	1				0,6
Eld13		3	1		2,96	Eld51		1	1		2,4801
Eld15			3		2,08	Eld53			1	1	3,96
Eld16		2			1,16	Eld54		1			1,28
Eld18	1	1	1	4	19,76	Eld55		1		2	5,96
Eld19			2		2,76	Eld56			1	1	6,28
Eld21	1	1		2	15,96	Eld57	2				0,96
Eld22		1		2	4,28	Eld60			1		2,04
Eld23	1		1		2,76	Eld61	1			2	11,28
Eld27	1			1	6,36	Eld65	1		1		2,52
Eld30		1		1	3,56	Eld69		1		1	4,4001
Eld31				1	3,12	Eld72				2	11,64
Eld32	1	1			1,76	Eld73				2	7,36
Eld33	1	1	1		2,04	Eld74			1		2,76
Eld34			1	1	3,40	Eld76				1	3,3999
				nb_inf 1s	nb 1 a 2 s		nb 2 a 3s	nb sup 3			
				TOTAL	22	22	TOTAL	20	43		

FIGURE 135 – Tableau des participants présentant des TIV inférieurs à 0,6 seconde

Si on considère à présent ces TIV de suivis critiques d'une façon plus détaillée, il convient de distinguer deux cas de figure : les TIV « souhaités », conséquence directe des stratégies de conduite adoptées par les conducteurs (en l'occurrence inadéquates, voire dangereuses, en cas de freinage brusque du véhicule suivi), et les TIV « subis », imposés en quelque sorte par les circonstances de conduite ou par le comportement d'autrui (lorsqu'un véhicule se rabat soudainement devant soi, par exemple). Dans ce second cas, un TIV inférieur à 0.6 seconde ne signifiera pas forcément qu'il s'agit d'une erreur de conduite de la part de nos conducteurs. En revanche, si ceux-ci ne réagissent pas immédiatement (dans l'ordre de la seconde) et maintiennent de façon durable (plus de 2 secondes) ce TIV inférieur à 0.6 seconde, cela reflètera alors, soit une erreur d'appréciation, soit une difficulté de régulation, soit une stratégie de conduite « à risque ».

Basées sur ces critères d'analyse, nos fonctions de monitoring (intégrant la durée des TIV inférieurs à 0.6 seconde et la prise en compte des manœuvres de régulation mise en place par

8.1. Fonctions de monitoring pour l'aide au contrôle latéral et longitudinal du véhicule

les conducteurs) permettent de diagnostiquer 63 situations de suivi critiques, impliquant 35 de nos conducteurs (nombre total des TIV inférieurs 0.6 seconde et d'une durée supérieure à 2 secondes). Si l'on s'en tient à la seule avant dernière colonne du tableau (TIV critiques d'une durée supérieure à 3 secondes), cela représente encore 43 situations de conduite, impliquant 25 conducteurs, soit le tiers de nos participants.

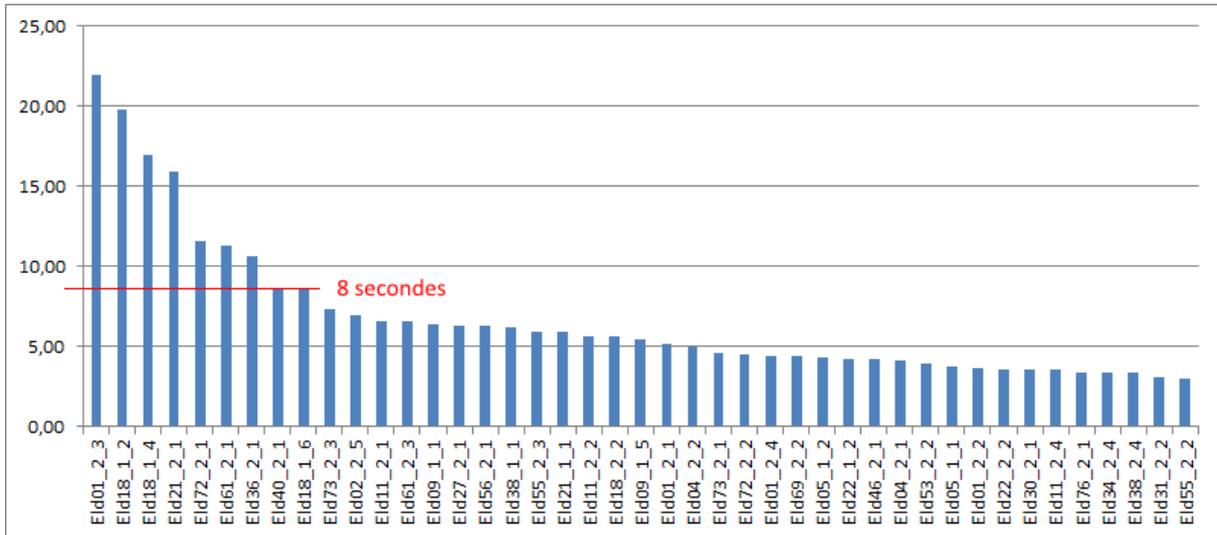


FIGURE 136 – TIV « critique » d'une durée supérieure à 3 secondes

Ce dernier groupe de situations est présentée dans la figure 136, recensant ces 43 cas de TIV les plus critiques, répartis en fonction de leur durée (allant de 3 secondes sur la droite et jusqu'à plus de 20 secondes sur la gauche). Pour l'ensemble de ces situations, il est légitime de parler de comportement à risque de la part de nos conducteurs. Les raisons de ce comportement peuvent relever d'une difficulté à apprécier la distance de suivi (problème de perception), d'une surestimation de leurs capacités de réactions ou d'une sous-estimation de la criticité objective de la distance de suivi adoptée (conscience du risque inadéquate), voire d'une « mauvaise habitude de conduite » qu'il conviendrait de chercher à corriger (ce qui est plus particulièrement le cas pour les situations d'une durée supérieure à 8 secondes, impliquant 7 conducteurs différents, parmi lesquelles le participant n°18, à trois reprises). Dans tous les cas, il semblerait nécessaire d'alerter le conducteur des risques d'accidents auxquels ils s'exposent.

Au final, nos fonctions de monitoring des TIV en situation de suivi sont opérationnelles sur véhicule (modulo les limites de fiabilité soulignées précédemment concernant la détection des cibles sur la route), et elles peuvent d'ores et déjà permettre de proposer des diagnostics pertinents, du point de vue de la sécurité routière et de la criticité des comportements de conduite adoptés par un nombre significatifs de nos conducteurs âgés, qu'ils conviendrait ainsi d'informer en temps réel du danger auquel les exposent, au moins de façon transitoire, leurs pratiques de conduite en matière de distance inter-véhiculaire.

8.2 Fonctions de monitoring pour l'aide au franchissement d'intersections en Tourne-à-Gauche

8.2.1 Spécifications Ergonomiques

Comme indiqué par la littérature et confirmé par nos observations sur routes, les situations de franchissement d'intersections posent des difficultés à certains conducteurs âgés. Nous avons notamment mis en avant les stratégies de **positionnement** ainsi que l'**estimation du créneau d'insertion** comme deux sources majeures de problèmes.

Les TàG sont très représentés parmi les types de manœuvres en intersections dans lesquelles nous avons rapporté des situations problèmes. Dans ces situations, la monitrice est intervenue à plusieurs reprises, de façon verbale ou directement sur les commandes pour des cas qui présentaient des créneaux d'insertion risqués. Plusieurs conducteurs ont reçu des appels de phares en traversant, ou en s'appêtant à traverser l'intersection, signe d'une manœuvre jugée risquée par le véhicule arrivant à contresens. Les positions d'arrêt ainsi que la trajectoire au niveau de la sortie se sont également révélées problématiques du point de vue de la gestion des interactions avec les autres usagers.

Les TàG présents sur notre parcours sont de nature et de configuration variables, nous choisissons de nous focaliser sur le type le plus complexe à modéliser, celui du TàG dans un carrefour à feux, avec 2 fois deux voies de circulations. Les autres intersections seront traitées hors du cadre de cette thèse. Par ailleurs, les conducteurs ont exprimés une difficulté modérée concernant la réalisation dans un TàG lors des Focus Group (bien qu'elle soit jugée comme plus difficile par les femmes). Cela va à l'encontre des difficultés et des erreurs observées sur route. Comme nous l'avons souligné, la question de la sous-estimation de la difficulté versus surestimation de ses propres capacités de conduite se pose alors. Nous ne trancherons pas sur cette question mais tenterons d'apporter une solution concrète aux problèmes que nous avons identifiés.

8.2.2 Positionnement et trajectoire dans l'infrastructure

Dans cette section, nous détaillerons d'abord la problématique du positionnement dans l'infrastructure en nous appuyant sur le schéma tactique pour le franchissement de TàG que nous avons introduit dans la section 6.3. Nous traiterons dans un second temps la problématique du créneau d'insertion à partir de la matrice des risques relatifs aux conflits de zones enveloppes.

8.2.2.1 Conception en Ingénierie Cognitive

Pour guider notre conception, nous nous appuyerons sur le modèle cadre du schéma tactique du TàG que nous avons instancié au carrefour de la Poudrette tel qu'il était à réaliser par nos participants. Il s'agit en effet de se placer dans une logique d'instanciation du schéma au monde réel, comme si l'on disposait d'une cartographie contenant la position de certains repères dans l'infrastructure (figure 137). Comme on peut le voir à gauche de la figure, nous supposons que le centre de l'intersection est repérable (cercle rouge). Les traits pointillés rouges délimitent quant à eux le début et la fin de la zone de traversée. Nous ajoutons deux repères oranges, placés au milieu des demi segments formés entre le début et le centre de la zone de traversée, et entre le centre et la fin de cette zone.

8.2. Fonctions de monitoring pour l'aide au franchissement d'intersections en Tourne-à-Gauche

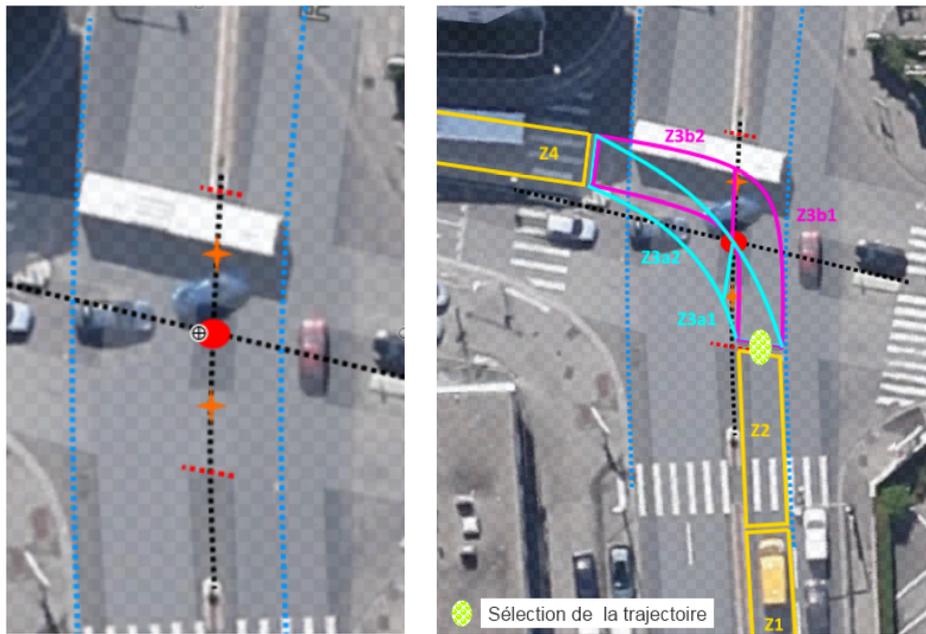


FIGURE 137 – Repère de l'infrastructure (à gauche) & zones de déplacement (à droite)

La figure de droite présente les zones de déplacements possibles. En fonction de la stratégie de positionnement ou de croisement d'un véhicule à contresens, deux alternatives se présentent en termes de trajectoires, Z3a1-Z3a2 pour une trajectoire courte (en évitement), ou Z3b1-Z3b2 pour une trajectoire plus longue (en contournement). Le conducteur est supposé avoir fait son choix lorsqu'il se trouve au niveau de la sortie de Z2, que nous avons repérée par un point vert sur la figure. Même si nous matérialisons le fait qu'un arrêt est possible dans la zone ZZ3a1, l'adoption d'une trajectoire courte supposerait l'absence de véhicule en attente de TàG à contresens pour se prémunir des risques de masquage, notamment dans cette infrastructure.

Du point de vue des tâches à réaliser lors du franchissement d'un TàG, nous proposons de la décrire à partir du phasage de l'activité présenté en figure 138.

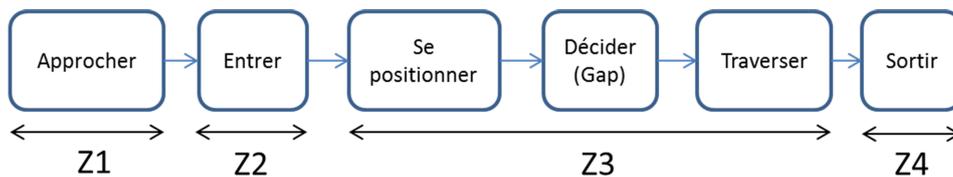


FIGURE 138 – Phasage de l'activité de franchissement d'un TàG

Le conducteur doit en effet approcher de l'infrastructure, et entrer effectivement dans le carrefour, avant de se positionner tout en évaluant le créneau d'insertion disponible, pour décider s'il peut traverser les voies à contre-sens et rejoindre la sortie de l'intersection. Le problème du positionnement tel que nous l'avons identifié dans nos observations concerne à la fois le positionnement en cas d'arrêt (position d'attente gênante), qu'en cas de traversée directe (trajectoire inadéquate, en entrée ou en sortie).

Concernant les indicateurs de performances, ils correspondent à des comportements attendus d'une part, et des comportements problématiques d'autre part, qu'il s'agit de situer au niveau de chaque zone :

- **Z1** : Le conducteur est supposé vérifier la couleur du feu en approche d'intersection, ainsi que la présence éventuelle de piéton. Son clignotant gauche devrait être activé dès cette zone pour indiquer son intention aux véhicules qui le suivent.
- **Z2** : Une fois dans cette zone, le conducteur doit avoir réduit sa vitesse et doit prendre la décision d'entrer dans l'intersection si les conditions de circulation (et éventuellement la possibilité que le feu passe au rouge) lui permettent d'envisager une traversée en sécurité. Il doit également décider de la trajectoire qu'il va adopter lorsqu'il arrive au niveau de la fin de la zone.
- **Z3a1 / Z3b1** : En fonction du trafic à contresens, le conducteur peut choisir d'adopter la trajectoire courte ou la trajectoire longue. Dans les deux cas, il peut s'arrêter mais dans une position qui ne gêne pas la circulation. Il doit identifier un créneau d'insertion en regardant face à lui.
- **Z3a2 / Z3b2** : Lorsque le conducteur décide de s'engager dans la traversée, il est censé avoir vérifié la zone de sortie pour s'assurer que la voie est libre (pas de bouchons, pas de piétons en approche). Il n'est pas censé s'arrêter dans ces zones puisqu'elles se situent dans la zone de conflit.
- **Z4** : Les premiers mètres de la sortie peuvent permettre au conducteur de s'arrêter pour laisser la priorité à un piéton qui souhaiterait traverser. La vitesse du véhicule n'est donc pas censée être trop élevée, et la position dans la voie doit être la plus correcte possible, surtout dans les TàG pour lesquels les voies de circulations à contresens ne sont pas isolées par un élément d'infrastructure comme c'est fréquemment le cas.

8.2.2.2 Développement en Cognitique

Du point de vue de l'implémentation de cette logique de phasage, nous envisageons la possibilité de recourir à un phasage spatial de l'environnement, notamment grâce au GPS. Ainsi, nous pouvons connaître la position du véhicule dans l'infrastructure, correspondant à une zone du schéma. A minima, nous pouvons, à partir de notre carte locale du parcours, identifier le moment à partir duquel le conducteur entre dans Z1, puis rebâtir le déplacement du véhicule à partir du déplacement longitudinal et de l'angle au volant qui correspond, à un facteur multiplicatif, près à l'angle de braquage des roues.

En fonction de la zone considérée, un ensemble de paramètres rendus disponibles par des fonctions de monitoring de base nous permettent d'identifier les problèmes en lien avec le positionnement. Nous ferons ainsi appel à notre fonction de monitoring de position dans la voie pour détecter les défauts de trajectoire interférant avec les véhicules qui circulent derrière ou à côté de notre voiture, la fonction de monitoring de l'angle volant, la fonction de déplacement longitudinal pour identifier si le véhicule se déplace ou non, la fonction de monitoring du temps inter-véhiculaire pour identifier si un véhicule se situe devant nous, la fonction de monitoring des stratégies visuelles et la fonction de monitoring du clignotant.

8.2. Fonctions de monitoring pour l'aide au franchissement d'intersections en Tourne-à-Gauche

L'implémentation des fonctions de monitoring utilisées dans cette proposition est en cours. Il s'agit tout d'abord de valider la faisabilité de l'identification de la zone courante du schéma tactique. Pour ce qui concerne les diagnostics, certains paramètres sont manquant, comme les stratégies visuelles qui seront codées manuellement pour quelques cas que nous avons identifiés.

8.2.2.3 Évaluation et perspectives

Nous proposons d'illustrer le principe que nous venons de présenter à partir de deux cas que nous avons présentés dans la section 6.3. Le premier concerne une position d'attente gênant la circulation (figure 139).



FIGURE 139 – Exemple de diagnostic d'une position d'arrêt gênante

Ce conducteur est face à deux véhicules qui souhaitent effectuer un TàG à contresens, il choisit donc de s'avancer dans l'infrastructure pour passer derrière le second. En faisant cela, il pensait pouvoir passer directement derrière le second véhicule mais il se retrouve arrêté en butée de zone de franchissement, sans la place pour s'engager (vue 2). Quelques secondes plus tard, la seconde camionnette a progressé dans l'intersection, le conducteur décide d'avancer, alors qu'un véhicule arrive à contresens sur la voie de droite (vue 3), il s'arrête à nouveau dans une position gênant la circulation. On peut voir sur la vue 4 à quel point il empiète sur sa voie de gauche du sens opposé. Le conducteur n'aurait pas dû amorcer sa traversée sans qu'il lui soit possible de dégager complètement l'intersection. Nous avons matérialisé sur la figure les repères utiles dans son cas, à savoir le centre de l'intersection et la démarcation de la ligne virtuelle à ne pas dépasser pour ne pas gêner la circulation.

Le second exemple concerne une conductrice qui s'est engagée beaucoup trop tôt sur la voie de gauche en approche d'un TàG en forme de T (figure 140). Dans cette situation, la conductrice approche du TàG à une vitesse proche de 50 km/h (vue 1). Alors qu'elle se trouve encore loin du centre de l'intersection (vue2), elle amorce un changement de voie, comme si elle circulait sur une route à sens unique alors qu'un véhicule arrive à contresens. Une seconde plus tard, son véhicule est au milieu des deux voies et la conductrice regarde en direction de la sortie, la trajectoire sur laquelle elle se trouve l'amènerait en effet à couper la voie opposée (vue 3). Vérifiant face à elle, la

conductrice a pris connaissance du véhicule arrivant à contresens et s'arrête. La conductrice est donc immobilisée sur la voie à contresens avec le véhicule prioritaire face à elle (vue 4). Il faudra quelques secondes pour que notre conductrice réagisse et termine sa traversée, le conducteur face à qui elle se trouve n'ayant pas d'autre choix que de la laisser passer.



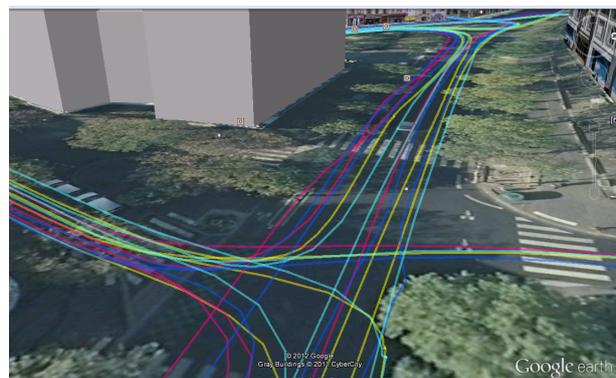
FIGURE 140 – Exemple de diagnostic d'une trajectoire dangereuse

Dans ce type de configuration, les diagnostics en lien avec le positionnement pourraient être utilisés pour permettre une aide au choix de trajectoire et à l'arrêt dans une position ne gênant pas la circulation, à l'aide d'une interface exploitant le principe de Réalité Augmentée. L'illustration ci-contre donne un exemple de ce qui pourrait être présenté à la conductrice dans le cas précédent pour l'aider à identifier le centre de l'intersection au-delà duquel elle aurait dû tourner du fait de l'arrivée d'un véhicule à contresens.



A supposer que nous disposions des informations de décomposition de l'infrastructure à partir d'un schéma tactique dans une base de données cartographiques, il faudrait également pouvoir jouir d'un positionnement le plus précis possible pour que les diagnostics soient fiables. Le GPS offre une précision de l'ordre de quelques mètres dans les zones dégagées et sa précision peut décroître dans des zones plus encaissées telles qu'on en trouve en milieu urbain, ce qui peut s'avérer problématique pour mettre en œuvre la logique que nous proposons ici.

Néanmoins, dans les débuts de cette thèse, nous avons pris part à une expérimentation croisée avec l'équipe GEOLOC de l'IFSTTAR qui développe une solution nommée Mesure de la Trajectoire de Référence. Dans le cadre de cette expérimentation, nous avons réalisé plusieurs boucles dans un quartier de Paris dont il existe une cartographie 3D et l'expertise en géomatique de nos collègues a démontré la possibilité d'obtenir des faisceaux de trajec-



8.2. Fonctions de monitoring pour l'aide au franchissement d'intersections en Tourne-à-Gauche

toires avec une précision sub-métrique, même dans des conditions très défavorables au GPS. L'illustration ci-dessus présente plusieurs trajectoires correspondant au passage de plusieurs conducteurs dans une même infrastructure. Ceci permet d'envisager des possibilités intéressantes en lien avec le positionnement par satellite.

8.2.3 Sélection d'un créneau d'insertion

Pour ce qui concerne l'estimation du temps disponible pour couper et traverser le flux opposé (créneau d'insertion), nous proposons de reprendre le principe d'évaluation de conflits de zones enveloppes en situation de TàG, tel qu'il a été utilisé par [Bornard, 2012].

8.2.3.1 Conception en Ingénierie Cognitive

La figure 141 présente quatre configurations de rencontre entre les zones enveloppes du véhicule qui effectue le TàG (encadré en bleu sur la figure) et celles du véhicule qui circule en sens opposé (encadré en rose sur la figure). Soit le véhicule qui réalise le TàG passe sans aucun conflit (141-a), soit en traversant la zone verte du véhicule prioritaire (141-b), soit la zone orange (141-c) ou la zone rouge (141-d).

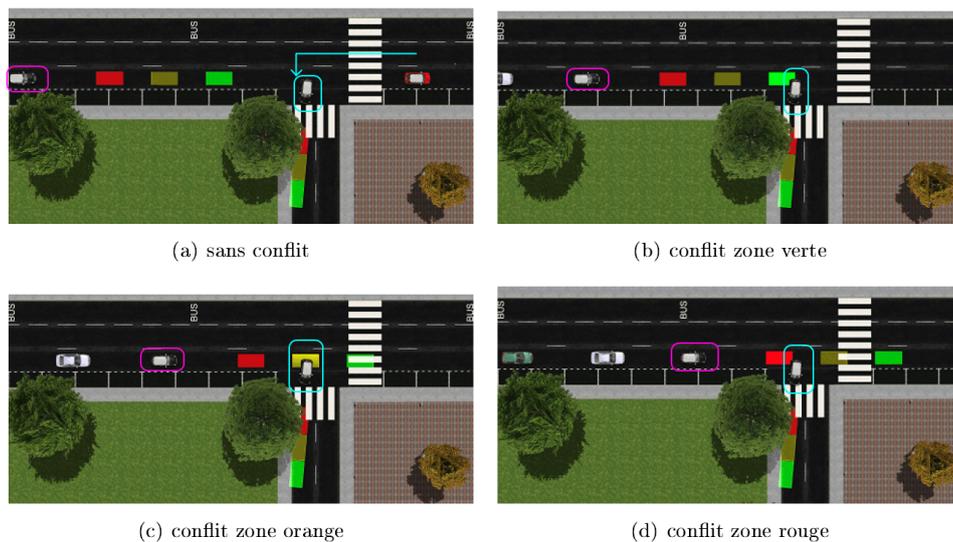
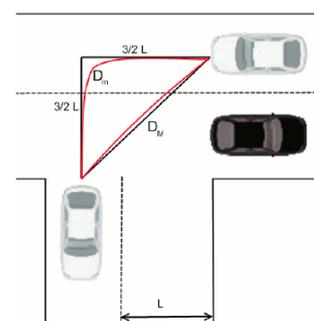


FIGURE 141 – Illustration des différentes configurations de rencontre de zones enveloppes entre deux véhicules circulant en sens opposé lors d'un TàG (adapté de [Bornard, 2012])

A partir du schéma présenté à droite, [Bornard, 2012] identifie l'enveloppe dans laquelle se situent les différentes trajectoires qu'il est théoriquement possible d'adopter pour la réalisation du TàG. La vitesse adoptée par le conducteur au cours de la manœuvre de TàG influence sa trajectoire et il est évident que plus il avance dans l'infrastructure, plus il sera contraint de ralentir pour tourner. En estimant les bornes inférieures et supérieures de la vitesse du véhicule lors de la traversée de l'intersection, il est possible de calculer le temps nécessaire à la traversée de la zone de conflit, pour une vitesse basse ou haute, en suivant la trajectoire longue ou courte.



Ce temps nécessaire à la traversée est rapproché du temps inter-véhiculaire entre le véhicule tournant et le véhicule prioritaire circulant à contresens, afin de déterminer le conflit de zones enveloppes. En effet, comme l'indique la figure 142, en fonction de la trajectoire adoptée (et donc du temps minimal et maximal de la traversée), le temps inter-véhiculaire permet de déterminer s'il existe un conflit entre les zones enveloppes des deux véhicules. On voit donc qu'il existe une borne inférieure de TIV en dessous de laquelle l'*accident* est inévitable et une borne supérieure au-delà de laquelle il n'y a aucune interférence.

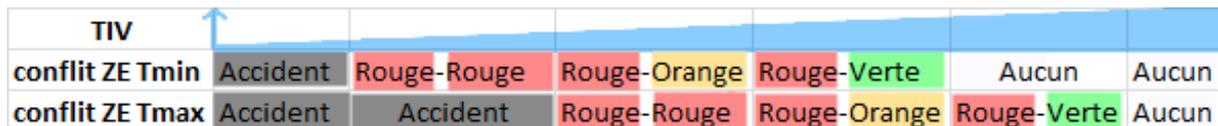


FIGURE 142 – Détermination des conflits de zones enveloppes en fonction du TIV et de la trajectoire

En fonction des conflits de zones enveloppes entre les deux véhicules, un certain niveau de risque peut être attribué à la manœuvre. S'il n'y a aucun conflit, le risque est nul. Si en revanche il existe un conflit, une **matrice des risques** permet de diagnostiquer le niveau de risque en lien avec le conflit parmi 9 possibilités (figure 143).

		Autre usager		
		Verte	Orange	Rouge
Véhicule sujet	Verte	Risque important	Risque notable	Risque modéré
	Orange	Risque notable	Risque très important	Risque très important
	Rouge	Risque modéré	Risque très important	Risque considérable

FIGURE 143 – Matrice des risques de conflits de zones enveloppes (adapté de [Bornard, 2012])

Considérons par exemple une distance de traversée d'une quinzaine de mètres et un véhicule voulant tourner à gauche en se déplaçant à 25 km/h. Il faudra donc 2 secondes à ce véhicule pour traverser la voie opposée. Si un véhicule prioritaire se trouve à un TIV de 5 secondes, sa zone verte se situe à $5-1,8=3,2$ secondes du véhicule tournant, sa zone orange à $5-1,2=3,8$ secondes et sa zone rouge à $5-0,6=4,4$ secondes, il n'y aura donc aucun conflit de zones enveloppes. Si à présent le véhicule prioritaire se trouve à 3 secondes du véhicule tournant lorsque ce dernier est sur le point de s'engager, un conflit de zones enveloppes se produit. En effet, sa zone orange se situe à $3-1,2=1,8$ secondes ce qui signifie que lors de sa traversée, le véhicule tournant sera pendant 0,2 secondes dans sa zone orange, ce qui engendre un conflit *rouge-orange* qui correspond à un *risque très important*.

8.2.3.2 Développement en Cognitive

[Borcard, 2012] a mis en œuvre ce principe dans une expérimentation sur simulateur impliquant des conducteurs dans des situations de TàG avec une voie de circulation à traverser. La logique que nous venons de décrire a été utilisée pour diagnostiquer le risque relatif aux conflits de zones enveloppes au moment où la décision de s'engager dans un créneau d'insertion était prise par les participants.

Mais il est tout à fait envisageable d'appliquer ce principe de façon continue pendant le déroulement de la manœuvre en prenant en compte l'activité de régulation de tous les conducteurs en interaction. Si plusieurs voies sont à traverser, il devient donc possible de déterminer dans quelle cellule de la matrice de risque se situe le conducteur par rapport à chaque véhicule circulant sur les différentes voies, et ceci de façon dynamique. Modulo la capacité à appliquer cette logique en embarqué, il devient possible de diagnostiquer le niveau de risque dynamique de la configuration en temps-réel. A partir de ce diagnostic, il s'agirait alors, en fonction du niveau de criticité de la configuration, d'alerter le conducteur quant au risque voire d'immobiliser le véhicule.

Par ailleurs, il est possible d'aller plus loin en combinant le repérage par zones de l'infrastructure avec la matrice de risques (figure 144).

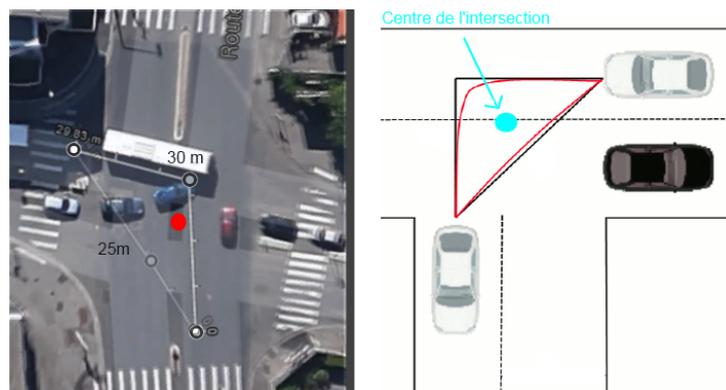


FIGURE 144 – Distances théoriques minimales et maximales à parcourir dans le TàG Poudrette

En effet, à partir de ces deux informations disponibles de façon dynamique, il serait envisageable d'indiquer au conducteur la trajectoire à privilégier en regard de la présence de véhicule en sortie de TàG par exemple, ou la stratégie de croisement à privilégier si des véhicules souhaitent effectuer un TàG en sens opposé. En restreignant les possibilités de trajectoires, les possibilités de conflits de zones enveloppes sont également réduits.

8.2.3.3 Évaluation et perspectives

Comme pour la question du positionnement dans l'infrastructure, nous proposons de reprendre un cas présenté dans la section 6.3. Il s'agit d'une situation dans laquelle un de nos conducteurs s'est engagé pour traverser l'intersection alors qu'un bus arrivait à contresens. Vouloir traverser devant ce bus, la monitrice a stoppé le véhicule jugeant que le temps disponible était trop court. La figure 145 se focalise sur les conflits de zones enveloppes au cours de la séquence.



FIGURE 145 – Évolution dynamique des conflits de zones enveloppes au cours de la manœuvre

Lorsque le conducteur se trouve proche du centre de l'intersection, il regarde le bus qui arrive à contresens (vue 1). Moins d'une seconde plus tard, il regarde en direction de la sortie avant de s'assurer qu'il va pouvoir traverser l'intersection sans s'arrêter (vue 2). Au vu de la distance à laquelle se situe le bus, un conflit de zones enveloppes est détecté (vue 3). La figure ne représente pas fidèlement le conflit qui serait diagnostiqué. D'après notre estimation qui se fonde sur la méthode de calcul présentée plus tôt, on peut dire qu'il s'agit d'un conflit orange-vert voire orange-orange, ce qui correspondrait respectivement à un *risque notable* voire un *risque très important*. La vue 3 montre la situation au moment où le véhicule est arrêté, suite à l'intervention de la monitrice sur la pédale de frein. On peut voir qu'il n'y a plus de conflit puisque toutes les zones enveloppes du véhicule sont confondues avec le capot (puisque le véhicule est arrêté). Cet exemple illustre bien le principe de prise de contrôle sur les commandes dès lors que la criticité de la situation est importante.

Bien sûr, ce que nous proposons est conditionné par la possibilité de disposer des informations nécessaires à de tels diagnostics. La position de repères dans l'infrastructure ainsi que ses caractéristiques permettraient d'établir la matrice des risques en fonction des vitesses pratiquées par les véhicules. A partir de là, il serait très riche d'enseignement de calculer, pour chaque franchissement d'un TàG, la position de la matrice des risques dans laquelle se situe un conducteur. En itérant ce principe, il devient envisageable de profiler le conducteur quant à ses stratégies de prise de décision pour s'engager dans la traversée en TàG.

Concernant le gap, le diagnostic d'un risque de collision alors que le conducteur s'apprête à s'engager pourrait permettre de déclencher une alerte (modalité la plus plébiscitée d'après les résultats du Focus Group), comme l'illustre la figure 146.



FIGURE 146 – Illustration d'un principe de réalité augmentée pour l'aide à la sélection d'un créneau d'insertion

Dans cette situation, la conductrice détecte un véhicule arrivant à contresens alors qu'elle approche de l'intersection (vue 1). Alors qu'elle pense pouvoir s'engager, une estimation du conflit

8.2. Fonctions de monitoring pour l'aide au franchissement d'intersections en Tourne-à-Gauche

de zones enveloppes entre les deux véhicules déterminerait alors la possibilité d'un conflit *rouge-vert*, correspondant à un *risque modéré* qui recommanderait alors à la conductrice de s'arrêter pour patienter. Une fois encore, il est difficile de rendre compte de façon réaliste du conflit de zone enveloppe sur la figure. Nous avons cependant sélectionné ce cas pour plusieurs raisons. D'abord car la conductrice n'étant pas certaine de prendre une décision sécuritaire, elle s'est ravisée dans cette manœuvre, signe que le niveau de risque qu'elle a perçue de la situation était relativement élevé. Deuxièmement, la monitrice a qualifié le créneau d'insertion comme *limite* en situation. Enfin, si la conductrice s'était engagée dans l'intersection, ce conflit probable de zones enveloppes avec le véhicule prioritaire l'aurait contrainte à adopter une trajectoire courte qui aurait impliqué une position empiétant sur la voie de gauche au niveau de la sortie. Lors de l'entretien, la conductrice nous a rapporté ne pas avoir bien pris le temps de vérifier à gauche avant de s'engager puisque son attention était portée sur l'estimation du créneau d'insertion. Une fois de plus, la logique de présentation de la trajectoire à favoriser eu égard de ce diagnostic de conflit de zones enveloppes avec un véhicule à contresens nous semblerait tout à fait pertinent.

Ce que nous présentons ici constitue en quelque sorte des prototypes d'exploitation des diagnostics des fonctions de monitoring que nous concevons. La prochaine étape qui débordera du cadre de cette thèse consistera à appliquer la logique pour disposer d'une matrice des risques instanciées à nos conducteurs âgés, pour une infrastructure du parcours. Nous devons nous limiter à des cas relativement simples, notamment afin de disposer d'une mesure du TIV à partir du radar. Les diagnostics qui seront produits à partir de l'algorithme seront mis en regard des auto-évaluations des participants pour les situations afin de s'orienter vers la *conscience du risque des conducteurs en matière de risque de collision en TàG*.

L'ultime section de ce manuscrit va présenter l'état du travail en cours concernant le monitoring pour l'aide à l'insertion sur voies rapides.

8.3 Fonctions de monitoring pour l'aide à l'insertion sur voies rapides

8.3.1 Spécifications Ergonomiques

Outre les manœuvres de franchissements d'intersections, les manœuvres de changements de voie se sont révélées les plus problématiques pour les conducteurs que nous avons observés. L'insertion sur voie rapide intègre cette manœuvre dans un contexte à forte contrainte temporelle du fait qu'elle doit être réalisée dans une zone géographique limitée. Comme indiqué dans la littérature, certains conducteurs ont tendance à éviter ces phases de conduite, se privant ainsi de l'accès au tronçon de voies rapides dont les aménagements sont pourtant des plus sécuritaires. Lors des Focus Group, les participants ont exprimés une difficulté modérée en moyenne pour ce type de situation avec cependant une très nette différence entre les hommes qui l'évalue comme faiblement difficile et les femmes qui jugent cette phase de conduite comme modérément difficile. Par ailleurs, nous avons observé plusieurs cas d'insertion difficile dont certains pour lesquels la monitrice est intervenue et/ou a attribué une note inférieure à 10 du fait de la gestion très moyenne. Là encore, les réactions des autres conducteurs ont été nombreuses dans ces situations, que ce soit pour manifester leur mécontentement ou leur empressement, ou pour faciliter l'insertion de certains conducteurs.

8.3.2 Conception en Ingénierie Cognitive

L'insertion sur voie rapide est probablement l'une des phases les plus complexes (modulo les conditions de circulation variables) que nos participants devaient réaliser sur le parcours expérimental. Nous proposons de reprendre le schéma tactique d'insertion présenté dans la section 6.10 (figure 147).

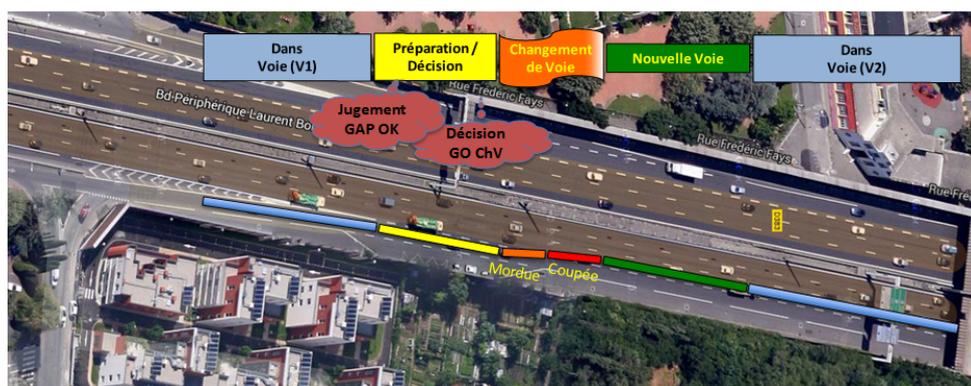


FIGURE 147 – Schéma tactique d'insertion sur voies rapides

A partir de ce schéma, nous identifions 7 phases impliquant des processus différents du point de vue de l'activité du conducteur auxquelles sont rattachés des comportements attendus et des comportements inadéquats (figure 148).

8.3. Fonctions de monitoring pour l'aide à l'insertion sur voies rapides

Phase d'Activité (schéma tactique)	Processus	Comportements Attendus (Souhaité)	Comportements Inadéquats Erreurs*/Anormal**	Indicateurs / Perf. (*Monitor)
(Dans Voie V1)	Chercher Gap (Préparer CHV)	(Retro gauche) (Accélérer => V>70 sauf si TIV) 3) (Non Gêne Suiveur)	1) Dans V1: cligG prémat. 2) (V trop lente & Accel trop faible, sauf si TIV) 3) (Mordue D/G) 4) (Chute TIV/TTC si Suivi)	Risque Entropie (+Gêne Suiveur) Défaut Maîtrise Défaut Régulat.
Préparation (Mordue – 5 S.)				
Préparation/Décision (Mordue – 3 S.)	Décider Engager Action CHV	1) RetroG puis ClignoG 2) (Angle Mort) 3) Accélérer si V<70 (sauf si TIV)	1) *Idem ci-dessus 2) *ClignoG PUIS RetroG 3) *Décélér. (sauf si TIV) 4) * Absence ClignoG	Vitesse Moy Abs ClignoG
Changement de Voie MORDUE	Amorcer CHV	1) ClignoG Obligatoire 2) Accélérer : pédale & Vitesse (V min75) 3) (Non Gêne Autrui)	1) *Décélér. (sauf si TIV) 2) *V Entropic (sauf si TIV) 3) (**Frein sans TIV**) 4) * Absence ClignoG	Durée CHV Vitesse Moy Abs. ClignoG (*Retour V1)
Changement de Voie COUPEE	Réaliser CHV	1) ClignoG Obligatoire 2) Accélérer : pédale & Vitesse (V min75) 3) (Non Gêne Autrui)	1) *Décélér. (sauf si TIV) 2) *V Entropic (sauf si TIV) 3) (**Frein sans TIV**) 4) * Absence ClignoG	Durée CHV Vitesse Moy ClignoG (*Retour V1)
New Voie (V2) (Dans voie 2 + 5 s.)	Fin CHV (2 nd CHV?)	1) V. Croisière correcte 2) (vérif. RetroS)	1) *V Entropic (sauf si TIV) 2) (Oubli clignoG si Actif)	Vitesse Moy (Entropie)
Dans Voie (V2)	LD (ou 2 nd CHV)	V. Croisière correcte (ou Chv2 correct)	1) (V Entropic (sauf si TIV) 2) (Oubli clignoG si Actif)	Diag. Vitesse standard (ou Diag CHV2)

FIGURE 148 – Phasage de l'activité en insertion, comportements attendus versus problématiques

La phase initiale correspond à une conduite habituelle dans sa voie de circulation. Dans la phase de préparation, le conducteur doit prélever de l'information concernant le trafic qui circule sur les voies adjacentes à la sienne, à la recherche d'un créneau d'insertion pour préparer son changement de voie. Pour ce faire, il doit consulter son rétroviseur gauche tout en augmentant sa vitesse, en gérant le TIV avant qui le sépare du véhicule qui le précède et afin de ne pas gêner le véhicule qui circule derrière lui.

En fin de phase préparatoire, le conducteur doit avoir décidé de s'insérer dans un espace sécuritaire et engage les actions nécessaires au changement de voie. Une vérification de l'angle mort est attendue durant cette phase ainsi qu'une vitesse du véhicule au moins supérieure à 80 % de la vitesse du flux de circulation si l'horizon avant lui permet d'accélérer (donc si le TIV n'est pas déjà trop bas). L'activation du clignotant devrait par ailleurs se faire après un temps minimum suivant une ou plusieurs consultations dans le rétroviseur gauche. Le conducteur est supposé être resté dans sa voie tant qu'il n'est pas prêt à changer de voie pour s'insérer.

Vient ensuite la réalisation de la manœuvre de changement de voie qui passe par une étape de chevauchement du marquage qui sera ensuite coupé (les roues gauches étant dans la nouvelle voie). Durant cette manœuvre, le clignotant est obligatoire et son oubli constitue une erreur. Le conducteur est supposé accélérer au moment où il change de voie et s'insérer sans gêner les véhicules prioritaires circulant sur la voie de droite du tronçon autoroutier. Dans cette phase, il peut arriver que le conducteur revienne sur sa décision en retournant dans sa voie, ceci constitue une autre indication d'un problème potentiel concernant l'évaluation qu'il avait fait de la situation au moment où il s'est engagé.

Nous considérons que le conducteur a terminé son changement de voie lorsque les quatre roues de son véhicule sont dans la nouvelle voie. Il est supposé avoir atteint une vitesse de croisière

en adéquation avec le trafic et vérifier que son insertion s'est bien déroulée en contrôlant par exemple son rétroviseur central et ses rétroviseurs extérieurs. Dans cette phase, le conducteur peut éventuellement préparer un second changement de voie. S'il décide de rester dans la voie la plus à droite, il veillera à ce que son clignotant gauche ne soit plus actif, puisqu'il réalise alors une phase de conduite dans sa voie.

Les indicateurs de performance concernent donc la vitesse du véhicule et l'information du temps inter-véhiculaire avant, la position dans la voie, l'utilisation des clignotants et surtout les stratégies visuelles. Précisions enfin que dans le cadre d'un dépassement, une séquence identique à l'insertion s'applique, à la différence près qu'elle est suivie par une seconde séquence qui se déroule vers la droite.

8.3.3 Développement en Cognitique

Les phases d'activité que nous venons d'identifier peuvent être traduites sous forme de diagramme états-transitions (figure 149).

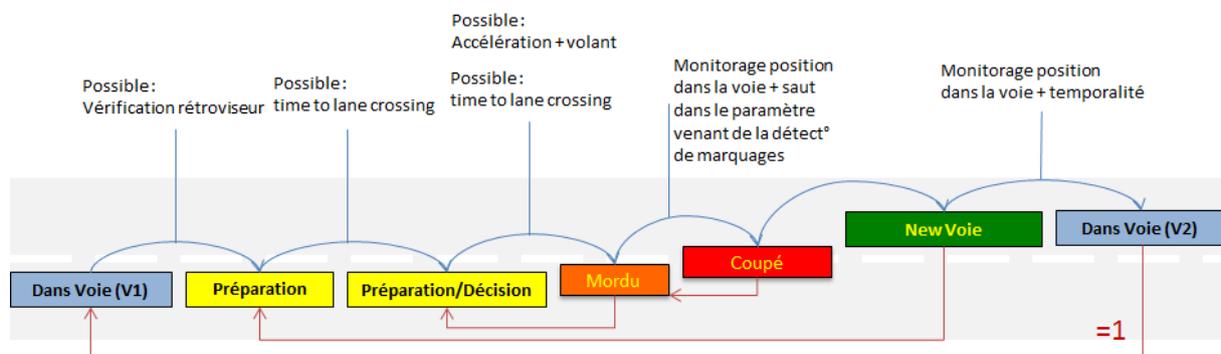


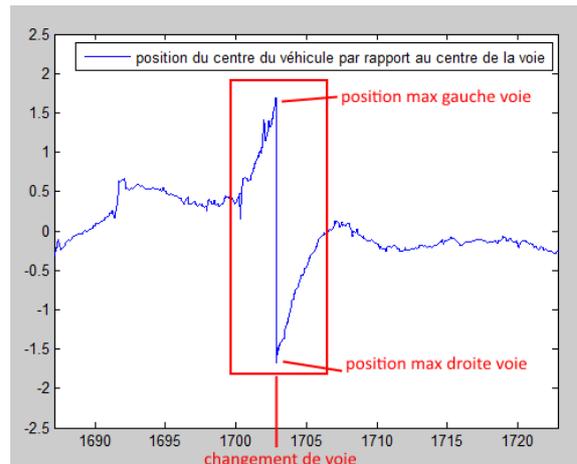
FIGURE 149 – Diagramme états-transitions d'une séquence de changement de voie

Le plus difficile à ce niveau est de déterminer les conditions à remplir pour évaluer le passage d'une phase à une autre. Nous proposons certains paramètres qui pourraient permettre de remplir cette fonction. Comme on le voit sur la figure, le renoncement qui consiste à se déporter sur la gauche avant de revenir dans la voie de départ peut se produire durant la manœuvre, nous le matérialisons par des transitions entre une position de *coupé* et *mordu*, ainsi qu'entre un *mordu* et la *position neutre* (dans voie). De plus, une fois l'insertion effective (conducteur se trouvant à nouveau en position neutre, après la détection d'un changement de voie effectif, se manifestant par un saut dans le paramètre fourni par le système de détection des marquages au sol, un nouveau changement de voie est possible, d'où la transition de retour présentée sur le diagramme dont la condition est toujours vraie (=1). En fonction de la dynamique de l'enchaînement de ce double changement de voie, il est possible que la préparation du second changement de voie intervienne avant la détection de retour à une position neutre dans la nouvelle voie (celle atteinte lors du premier changement de voie).

La vitesse du véhicule, le temps inter-véhiculaire et le clignotant sont des paramètres faciles d'accès. Concernant la position dans la voie, le paramètre qui provient du système de détection des marquages permet de détecter le moment du changement de voie, comme l'indique la figure ci-après.

8.3. Fonctions de monitoring pour l'aide à l'insertion sur voies rapides

On distingue en effet sur cette figure une rupture au niveau de la position dans la voie. Elle croît tout d'abord, ce qui signifie que le centre du véhicule se déplace vers la gauche de la voie de circulation, jusqu'à atteindre un maximum. Immédiatement après, la position bascule du côté négatif avec un minimum, ce qui signifie que le véhicule se situe le plus à droite de sa voie de circulation. Le point de renversement correspond donc au moment où le véhicule est passé d'une voie à une autre, en tout cas du point de vue du dispositif de mesure considéré.



Lors de nos analyses de ce paramètre au niveau de l'insertion, nous nous sommes aperçu d'un taux élevé de non détection des marquages. Pour certains conducteurs, la qualité des données permettent d'envisager une exploitation directe du paramètre. Pour d'autres, les données correspondantes à la phase de changement de voie ne sont pas exploitables. Nous avons donc codé manuellement la position du véhicule dans toute la phase d'insertion, d'un point de départ à un point de fin, englobant les repères physiques entre lesquels l'insertion est possible.

Afin d'évaluer la pertinence de notre proposition, nous avons également besoin de données en lien avec les stratégies visuelles de nos conducteurs, nous avons donc codé manuellement la direction des regards des conducteurs ayant emprunté la première insertion du parcours. A partir de ce travail, nous avons développé la fonction de monitoring des stratégies visuelles qui permet de diagnostiquer quelle zone est consultée par nos conducteurs, à chaque instant de l'insertion (figure 150).

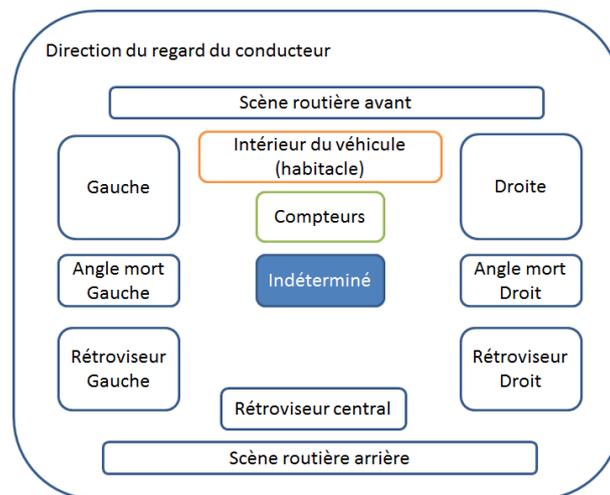


FIGURE 150 – Fonction de monitoring des stratégies visuelles

Nous nous plaçons dans la logique d'une solution d'oculométrie qui permettrait, lorsque la détection du regard fonctionne (i.e. que la position est déterminée), d'identifier quelle zone située à l'intérieur ou à l'extérieur du véhicule est consultée par le conducteur. Ainsi, nous identifions, à l'intérieur du véhicule, le panneau d'instrumentation et le reste de l'habitacle. Pour l'extérieur, le

conducteur peut soit consulter les régions de manière directe, soit au moyen de ses rétroviseurs. La disposition des zones dans le diagramme correspond à ce qui entoure le véhicule.

8.3.4 Évaluation et perspectives

L'implémentation des fonctions de monitoring dont nous venons de présenter le principe a débuté. Cette étape consiste à opérationnaliser la solution que nous venons de présenter à l'aide du formalisme des Statecharts de Stateflow (dont une rapide description est présentée en **annexe K**). Des tests sont actuellement en cours afin d'affiner les indicateurs retenus pour diagnostiquer les comportements inadéquats de certains conducteurs. Une fois les indicateurs identifiés, il s'agit de soumettre ces modèles d'analyse à nos jeux de données, dans des conditions de rejeu sur table.

Au moment où nous rédigeons ces lignes, seul le paramètre vitesse a fait l'objet d'une analyse par l'intermédiaire d'une fonction de monitoring. Nous avons en effet réalisé des analyses sur la vitesse pratiquée par les conducteurs en fonction de la distance parcourue. La première analyse reprend la logique de calcul de temps passé par gamme de vitesse dans la zone étudiée (figure 151). On peut distinguer en rouge le temps passé à moins de 80% de la vitesse maximale autorisée et en vert le temps passé à une vitesse d'au moins 90% de la limite maximale autorisée.

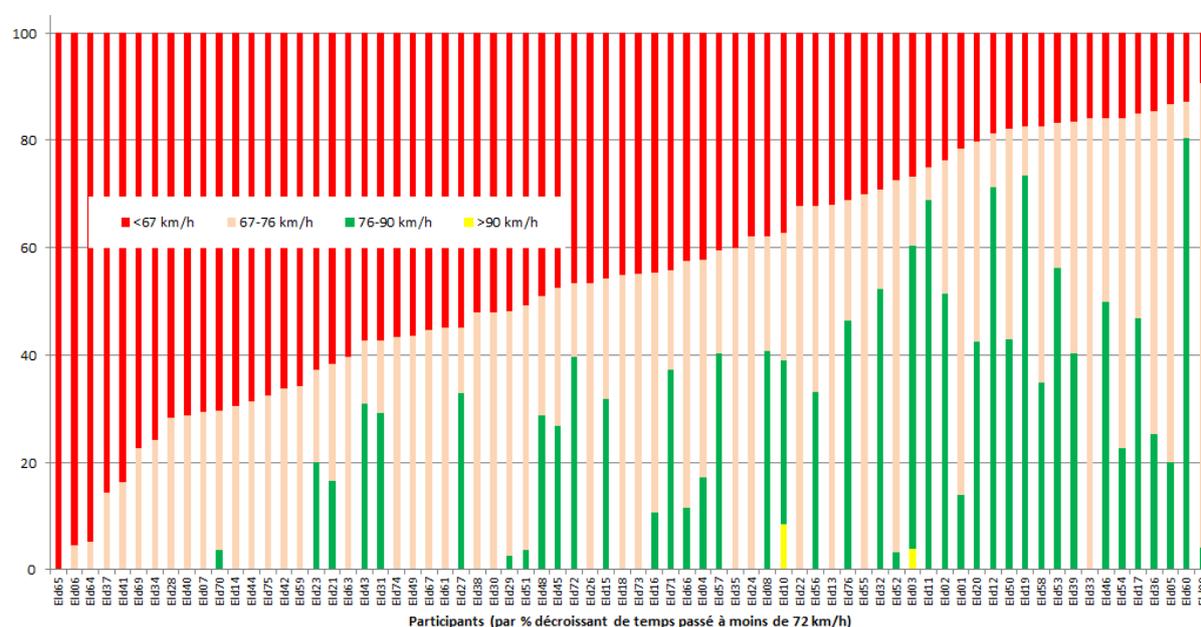


FIGURE 151 – Pourcentage de temps passé dans chaque gamme de vitesse sur les 500 premiers mètres du périphérique, incluant l'insertion

L'autre approche concernant l'analyse de la vitesse consiste à la comparer entre les différents conducteurs, en fonction de la distance parcourue entre le point de départ de et le point de fin de l'insertion telle que nous les avons repérés (figure 152). Nous avons indiqué sur la figure la zone géographique pour laquelle le marquage est discontinu (et donc dans laquelle doit se produire le changement de voie).

8.4. Notre chaîne logicielle et matérielle pour le monitoring

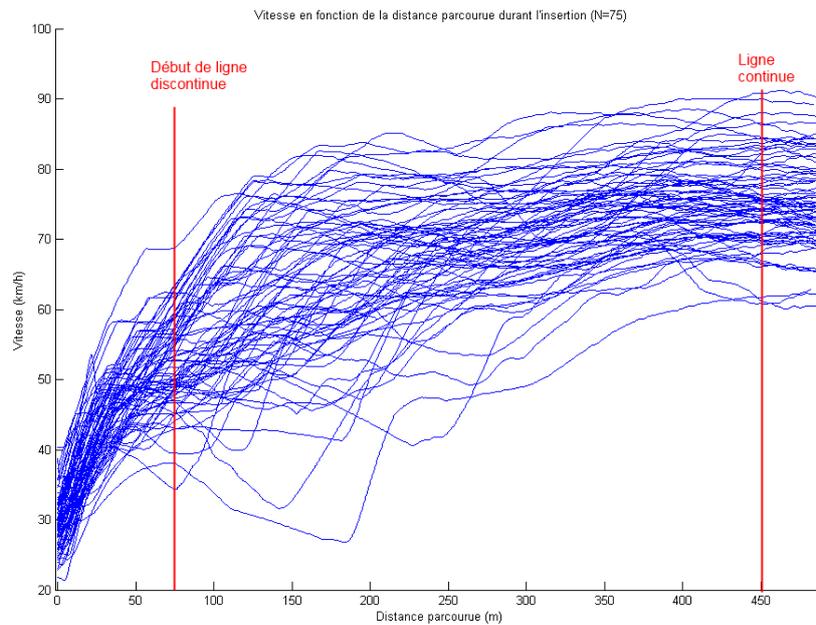


FIGURE 152 – Tracés de la vitesse du véhicule en fonction de la distance parcourue (500 premiers mètres) pour 75 participants

Comme on peut le voir sur ce tracé, la vitesse pratiquée par certains conducteurs au cours de la phase de préparation du changement de voie indique une difficulté marquée pour accélérer (ou à minima maintenir une vitesse stable) tout en cherchant à identifier un espace d'insertion sécuritaire à l'aide de ses rétroviseurs. Concernant le développement des fonctions de monitoring en charge de diagnostiquer l'ensemble des comportements inadéquats tels que nous les avons présentées, le travail est en cours.

8.4 Notre chaîne logicielle et matérielle pour le monitoring

Les sections précédentes donnent un aperçu de l'état actuel de la progression dans la direction du monitoring. Les différentes fonctions que nous avons évoquées sont à des stades de maturité variables. En effet, il nous a fallu, en parallèle de toute la démarche expérimentale que nous avons présentée dans les chapitres 5 à 7, mettre en place une chaîne logicielle et matérielle permettant le prototypage des fonctions de monitoring (figure 153).

Pour ce faire, nous avons mis en place une logique d'échange qui s'organise autour de quatre entités : un langage de communication, un lieu de transit des messages et enfin deux interlocuteurs. Pour ce qui est du langage, nous utilisons le protocole de communication XMPP (Extensible Messaging and Presence Control), « *ensemble de protocoles ouverts, couramment utilisé par les systèmes de messagerie instantanée et plus généralement une architecture décentralisée d'échange de données* »². L'idée est alors de créer deux utilisateurs, l'un en charge de diffuser les données et l'autre en charge de les réceptionner pour les transmettre aux modèles d'analyse temps-réel. Pour ce qui est du lieu de transit des messages, nous avons donc installé un serveur Openfire en local qui va permettre aux utilisateurs de se connecter et d'envoyer et recevoir des messages.

²source : wikipedia

Côté Matlab, nous avons créé un script spécifique permettant de connecter un utilisateur au même serveur Openfire pour récupérer les données et assurer la mise à jour de toutes les variables utilisées par les fonctions de monitoring. Ce script assure également une fonction de traduction qui permet de garantir l'interopérabilité des sources de données que nous souhaitons connecter en entrée des fonctions de monitoring. En effet, cet interlocuteur dispose d'une table de correspondance entre le nom d'un paramètre envoyé par une source et le nom générique d'un paramètre utilisé par les fonctions de monitoring. Dès lors, il est possible de connecter n'importe quelle source de données capables de communiquer en XMPP aux modèles d'analyse.

Dans le véhicule instrumenté, la plateforme d'acquisition des données a fait l'objet d'un développement d'un module de communication XMPP, langage qu'utilise également la plateforme de conception COSMO-Sivic développée au LESCOT.

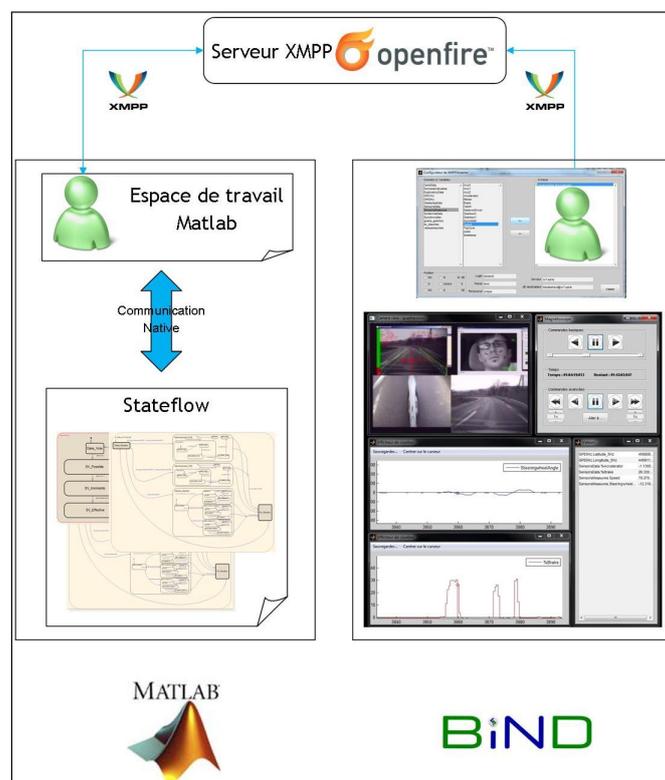


FIGURE 153 – Schéma de communication entre l'outil de rejeu de données (BIND) et l'outil d'exécution des modèles (Stateflow)

8.5 Conclusion synthétique

Dans ce dernier chapitre, nous avons ciblé en priorité les fonctions de monitoring qui répondaient à un besoin fort en assistance, qu'il ait été exprimé par les participants et/ou identifié lors des observations sur route. Le stade de maturité des différents ensembles de fonctions que nous avons présentés est lié à la complexité de la manœuvre à laquelle on s'intéresse. Pour les fonctions en lien avec les contrôles longitudinal et latéral, nous avons pu nous baser sur des travaux antérieurs qui nous ont permis de détailler les différentes étapes allant de la conception jusqu'à l'implémentation et le test sur table. Pour les TàG, il s'agissait surtout ici de rendre compte des étapes de conception et de développement au stade de prototype à partir de cas.

Pour les insertions, nous avons consacré du temps au codage manuel des stratégies visuelles des conducteurs afin de pouvoir implémenter la logique que nous avons décrite à court terme. Le travail de développement à l'aide du formalisme des *Statecharts* a débuté et des premiers tests sont en cours.

De plus, les diagrammes états-transitions qui sont créés à l'aide de Stateflow peuvent être compilés en code C qu'il est alors possible de transférer sur un micro-contrôleur. L'équipe simulation de l'IFSTTAR LEPSIS de Bron est actuellement en phase de migration technique vers ce type de solution à l'aide d'un micro-contrôleur qui inclut des entrées et des sorties CAN. Nous projetons dans les mois qui viennent et en synergie avec nos collègues, d'aller jusqu'à l'embarqué, pour tester les diagnostics que produiraient nos fonctions de monitoring en condition réelle.

Parmi les perspectives de validation des fonctions de monitoring dont nous allons poursuivre le développement au-delà du cadre de cette thèse, les initiatives actuelles en matière d'Open Data appliqué aux données de conduite nous semblent une piste très intéressante. En effet, ce phénomène semble se généraliser à l'échelle mondiale et permettrait d'interfacer les fonctions de monitoring avec des données très variées, ce qui permettrait d'en évaluer la portée.

Conclusion générale et perspectives

Nous avons développé notre problématique tout au long de ce manuscrit, en nous appuyant tout d'abord sur la littérature dans le but de préciser notre objet d'étude : l'activité de conduite automobile. Nous avons présenté des outils et méthodes permettant son analyse et sa modélisation, en référant notamment à des travaux antérieurs menés au LESCOT et dans la continuité desquels s'inscrit notre recherche. Nous nous sommes ensuite intéressés à la population grandissante des conducteurs âgés, exposée aux effets du vieillissement et aux impacts que ce processus universel mais néanmoins multi-forme peut avoir sur la conduite automobile. Nous avons insisté sur l'importance du maintien d'une auto-mobilité de cette population, qui nécessite alors une bonne intégration des conducteurs âgés au sein du système routier. Parmi les solutions envisageables, les aides à la conduite ont été décrites comme un des leviers permettant de soutenir le conducteur âgé dans sa tâche et sécuriser sa pratique, à condition que cette assistance soit adaptée et conçue pour répondre à ses besoins effectifs, ainsi qu'à ses attentes. La philosophie du monitoring de l'activité a ainsi été introduite comme un moyen d'assurer l'adaptativité de l'assistance. Cette problématique a ensuite été reformulée dans le cadre du *Human Centred Design* afin de la traduire en un cahier des charges méthodologique pour la conception de fonctions de monitoring visant à faciliter l'Auto-mobilité des conducteurs âgés tout en garantissant une sécurité routière pour tous. A partir de ces connaissances sur les éléments constitutifs de la problématique, nous avons alors défini et proposé une méthode spécifique en Cognitive Ergonomics et Cognitive Engineering pour la spécification jusqu'au développement de fonctions de monitoring, dans un cadre de conception centrée sur l'humain.

Cette méthode a ensuite été déployée avec la mise en place et la réalisation de deux campagnes de collectes de données visant à combiner l'apport de données de conduite objectives et de données subjectives recueillies auprès des conducteurs. Soixante-seize conducteurs, âgés de 70 à 87 ans et issus d'un échantillon représentatif de la population du Rhône, ont ainsi été invités à conduire un véhicule instrumenté sur route ouverte. Un parcours expérimental, défini à partir de la littérature et incluant des manœuvres et des infrastructures de complexité variable, a été proposé pour observer l'activité des conducteurs âgés en situation écologique de conduite. À la suite de la phase de conduite, des entretiens d'auto-confrontation ont été réalisés avec chaque participant. Dans une seconde phase expérimentale, 30 conducteurs ayant pris part à l'expérimentation sur route ont été conviés à participer à des groupes de discussion (Focus Group) dans le but de mieux cerner les besoins et attentes de cette catégorie d'utilisateurs en matière d'aides à la conduite, en évoquant en outre, la question de l'automatisation progressive de la conduite.

Nous disposons à présent d'un corpus de données de conduite conséquent (2100 km, soit 56 H de conduite), à la fois structuré pour répondre à nos enjeux et documenté pour une navigation optimale dans les données en vue d'analyses en cours et à venir (plus de 1900 situations documentées). De plus, nous disposons de données déclaratives (1420 situations auto-évaluées par les participants, 200 H d'entretien) ainsi que des jugements d'experts réalisés par la monitrice. Enfin, les Focus Group nous ont permis de raffiner l'explicitation des attentes des conducteurs âgés en matière d'assistance.

Les analyses menées à ce jour nous ont permis de confirmer les éléments rapportés de la littérature mais également de les enrichir en obtenant des informations plus précises sur certaines

situations difficiles pour les conducteurs âgés. A titre d'exemple, nous avons identifié que pour les situations de tourne-à-gauche, la question de la prise de décision quant à la traversée a posé problème à certains conducteurs. Mais le positionnement dans l'infrastructure était un problème fréquemment observé et peut rapporté dans la littérature pouvant entraîner une certaine entropie dans la circulation. Le travail réalisé en matière d'analyse et de modélisation des observations sur route constitue une première étape qu'il s'agira de poursuivre hors du cadre de cette thèse. En effet, nous avons identifié de nombreuses situations d'intérêt dont nous avons tenté de rendre compte à travers les études de cas proposées dans le chapitre 6. Chaque investigation amenant de nombreuses questions, il est clair qu'il faudra plus de temps et davantage d'efforts pour une exploitation plus complète. Néanmoins, le travail de capitalisation ainsi que le soin apporté à la mise en forme et au stockage des données nous confère un bon espoir quant à la ré-utilisabilité du corpus de données ainsi constitué.

Les données d'auto-confrontation ont été considérées en regard des différents cas que nous avons présentés. Il serait très intéressant, à l'avenir, de se focaliser sur une analyse plus fouillée de ces données, notamment concernant les corrélations qui peuvent exister entre les différentes dimensions que nous avons soumis aux participants. Des exploitations de ce type ont été réalisées dans le cadre du Projet PARTAGE auquel nous avons participé et nous projetons d'appliquer un cadre d'analyse semblable sur ce nouveau jeu de données.

Les données du Focus Group nous ont quant à elles beaucoup renseignées sur les conducteurs âgés et leur rapport à la conduite et aux dispositifs d'aides. La méthodologie originale mise en place a démontrée son plein intérêt en alliant les formes du questionnaire individuel et de la discussion collective. L'un des résultats majeurs que nous retiendrons concerne la bonne adhésion des conducteurs âgés aux systèmes d'aides à la conduite. De plus, les avis collectés diffèrent de façon nette entre les hommes et les femmes concernant les besoins et les attentes en termes de soutien, principalement concernant le tourne-à-gauche, les changements de voies et les insertions sur voies rapides. Une hiérarchisation des difficultés et des attentes en assistance a été rendue possible à partir des données collectées. Nous envisageons de reconduire l'expérience auprès d'autres conducteurs âgés dans le but d'augmenter la puissance statistique des analyses que nous avons d'ores et déjà identifiées.

Concernant le monitoring, nous avons adopté une démarche de conception centrée sur l'humain reposant sur 4 étapes. Une étape de spécifications ergonomiques qui constituent une reformulation des besoins et attentes exprimés par les conducteurs seniors durant les Focus Group ainsi que des difficultés et des erreurs observées au cours de l'expérimentation sur véhicule instrumenté. Une étape de Conception en Ingénierie Cognitive, pour identifier des indicateurs de performance et/ou situationnels permettant de juger de l'adéquation de l'activité au regard des conditions de conduite. Une phase de Développement en Cognitive centrée sur le développement d'algorithmes de monitoring pour l'analyse temps-réel de l'activité des conducteurs seniors dans le but de diagnostiquer des difficultés ou des erreurs pour adapter les fonctions d'aide à leurs besoins en situation. La dernière étape, plus prospective, vise à exploiter le produit de ces trois niveaux précédents afin de concevoir de futurs E-ADAS adaptés aux besoins spécifiques des conducteurs âgés permettant de maintenir l'Auto-mobilité Durable des seniors.

Le premier résultat qu'il convient de souligner concerne la démonstration de la faisabilité et de l'intérêt du monitoring. En effet, nous avons développé des fonctions de monitoring d'ores et déjà opérationnelles pour monitorer les activités de contrôle longitudinal et latéral du véhicule,

sous l'angle de la régulation de la vitesse, du temps inter-véhiculaire et de la position dans la voie. Nous avons en outre exploré, en nous basant sur l'approche des schémas de conduite, le monitoring pour l'assistance au franchissement d'intersections en situation de Tourne-à-Gauche ainsi que l'aide à l'insertion sur voies rapides. Pour ces manœuvres complexes, nous avons présenté l'état actuel de l'avancement du travail de conception. Bien que la phase de développement soit actuellement en cours, nous avons illustré le principe d'instanciation du schéma de conduite au réel dans le but de diagnostiquer des comportements inadéquats de la part du conducteur en fonction de la configuration des situations de conduite qu'ils rencontrent. Actuellement, la recherche de nouveaux indicateurs et leur intégration dans des algorithmes de monitoring se poursuit.

Concernant le développement et l'évaluation des fonctions de monitoring, l'outil Stateflow permet de transformer les modèles fonctionnant en condition de rejeu temps-réel, en modèle alimenté par les données contenues dans un ensemble de fichiers. En enregistrant l'activité des fonctions de monitoring, nous sommes donc à même de générer des traces d'activité de ces modèles pour le jeu de données considéré. L'analyse de ces traces d'activité des automates d'analyses permettent alors d'apprécier le produit des diagnostics pour l'ensemble des données testées. Cette phase de test et de robustification est actuellement en cours. Pour ce qui concerne le caractère embarqué des fonctions de monitoring que nous avons présentées, l'architecture matérielle et logicielle est également opérationnelle.

Nous avons évoqué à plusieurs reprises au cours de ce manuscrit la possibilité de profiler les conducteurs dont nous avons observé l'activité de conduite, en nous basant sur des principes d'identification de sous groupes, à partir des différents indicateurs que nous avons proposés. Là encore, les différentes fonctions de monitoring que nous avons conçues et testées sur une partie des données de conduite pour le moment, semblent permettre de déterminer des indicateurs de performance pour différentes dimensions de la conduite. Nous poursuivrons les analyses dans cette direction au-delà de la thèse.

Cette thèse s'arrête ici mais l'avancée dans notre démarche va se poursuivre au-delà. En effet, à court terme, nous poursuivrons notre travail dans le cadre de la dernière année du projet SAFEMOVE. Il va s'agir de mettre au point les fonctions de monitoring à partir de la méthode que nous avons illustrée dans le dernier chapitre. Des démonstrateurs seront présentés en clôture du projet, l'un pour présenter la logique de prototypage sur table de fonctions de monitoring et l'autre prenant la forme d'un véhicule instrumenté embarquant des fonctions de monitoring en collaboration avec Continental. Parmi les opportunités en cours de discussion, l'apport potentiel de la Réalité Augmentée pour les fonctions de monitoring considéré dans nos travaux pourraient être testées dans le cadre d'une expérimentation sur simulateur de conduite dynamique que va mener PSA.

Valorisation des travaux durant la thèse

Reuves à comité de lecture

- **Paris J.-C.**, Bellet T., Marin-Lamellet C., Cour M., Boverie S., Claverie B. (*à paraître*). Assistance aux conducteurs âgés : Analyse de l'activité pour la conception de futures fonctions de monitoring de la conduite automobile. *Revue Transport Sécurité*, N°30 - pp 227-243.

Chapitres d'ouvrage

- S. Lafont, L. Paire Ficout, C. Gabaude, M. Hay, T. Bellet, **J.-C. Paris**, C. Marin-Lamellet, C. Fabrigoule. (*à paraître*). SAFE MOVE for older drivers. *La documentation Française*.
- Bellet T., Mayenobe P., Bornard J.C., **Paris J.C.**, Gruyer D., Claverie B. (2011). Human driver modelling and simulation into a virtual road environment. In Cacciabue, P. C. ; Hjalmdahl, M. ; Lüdtke A. ; Riccioli, C. (Eds.). *Human Modelling in Assisted Transportation : Models, Tools and Risk Methods*, Milan, Springer, pp. 251-262.

Conférences internationales

- **Paris J.-C.**, Bellet T., Cour M., Marin-Lamellet C., Deleurence P., Moreau F., Boverie S., Andre J.-M., Claverie B. (2014). Driving assistances for senior drivers : a human centered design approach. In *Proceedings of the TRA2014 (5th Transport Research Arena)* - April 14-17 2014, Paris, France.
- Bellet T., **Paris J.-C.**, Marin-Lamellet C., Cour M., Boverie S., Ojeda L. (2014). Human Centred Design of future driving aids to support elderly drivers needs : methodological issues and empirical data collection on open road. *International Conference of Applied Psychology (ICAP)*, 11th July 2014, France.
- **Paris, J.-C.**, Bellet, T., Marin-Lamellet, C., Deleurence, P., Gauthier S., Moreau, F., Claverie, B. (2013). Analyse et Modélisation de l'Activité des conducteurs âgés en situation écologique pour la conception d'assistances. 26^{ème} Entretiens Jacques Cartier, *Les Aînés et la Sécurité Routière* - 26-27 novembre 2013, Lyon, France.
- Bellet, T., Bornard J.C., Mayenobe, P., **Paris J.C.**, Gruyer D., Claverie B. (2012). Computational simulation of visual distraction effects on car drivers' Situation Awareness. In, N. Russwinkel, U. Drewitz and H. van Rijn (eds.), *Proceedings of ICCM2012 (11th International Conference on Cognitive Modeling)*, Berlin, Technical University of Berlin, pp. 59-65.
- **Paris, J.-C.**, Bellet, T., André, J.-M., Claverie, B. (2012). Driving monitoring for contextual management of Human-Machine Interactions. *Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting* - 9-12 October 2012, Toulouse, France.
- Bellet, T., Bornard J.C., Mayenobe, P., **Paris J.C.**, Gruyer D., Claverie B. (2012). A Virtual Human Centred Design tool based on a cognitive simulation model of the car

driver. In *Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems* - June 14-15 2012, Valencia, Spain.

- **Paris, J.-C.**, Bellet, T. (2012). Démonstrations finales du projet ANR PARTAGE - 15 mai 2012, Satory, France.

Rapports sur conventions

Projet PARTAGE (ANR-08-VTT-012-01)

- Bellet T.; **Paris J.-C.**, Deleurence P., Bonnard A., Moreau F. (2012). Modélisation de l'activité pour le jugement d'adéquation des comportements et perspectives d'intégration pour une gestion temps réel des Interactions Homme-Machine. Rapport PARTAGE n°L3-5-3 / L3-5-4, 73 p.
- Bellet T., **Paris J.-C.**, Mathern B., Deleurence P., Moreau F. (2012). Analyse des sorties de voie observées en conditions réelles de conduite. Rapport PARTAGE n° L3-5-2, 44p.

Projet SAFEMOVE (ANR-11-VPTT-0001)

- Bellet T., **Paris J.-C.**, Marin-Lamellet C., Ojeda L. (2014). Difficultés de conduite et attentes des conducteurs âgés en matière de fonctions d'assistances. Rapport SAFE MOVE n° D3.1.1, 70p.

Liste des figures

1	Trois niveaux de contrôle de l'activité de l'opérateur humain de [Rasmussen, 1983]	9
2	« Perception - Cognition - Action », une double boucle de régulation dynamique de l'activité de conduite (adapté de [Bellet et al., 2012a])	13
3	Modèle de Hiérarchie du Risque (de [Van der Molen and Bötticher, 1988], présenté dans [Bellet, 1998])	16
4	Architecture générale de Cosmodrive (d'après [Bellet, 1998])	17
5	Exemple de schéma tactique de tourne-à-gauche (de [Bellet, 1998])	19
6	Exemple de schéma tactique de dépassement réussi sur autoroute (de [Mathern et al., 2010])	19
7	Architecture élémentaire du système cognitif du conducteur (de [Bellet et al., 2009])	20
8	Le rôle des représentations mentales durant la conduite (de [Bellet et al., 2012a])	21
9	Niveaux de conscience et boucles de contrôle de l'activité (de [Bellet et al., 2009])	23
10	La théorie de l'action raisonnée (d'après [Fishbein and Ajzen, 1975])	25
11	Rôle des représentations sociales et cognitives dans la genèse de l'intention et des comportements (d'après [Banet, 2010])	26
12	Trois niveaux de performance de conduite (d'après [Allen et al., 1971])	37
13	Décomposition des étapes fonctionnelles engagées en conduite automobile (d'après [Van Elslande, 2001], p.97)	39
14	Visualisation d'une trace d'activité de changement de voie (de [Georgeon, 2008])	41
15	Exemple d'automate correspondant au début d'une phase d'activité de dépassement	42
16	Exemple de schéma tactique de dépassement réussi sur autoroute (de [Mathern et al., 2010])	43
17	Taux d'accidents normalisés par distance parcourue, en fonction de l'âge	57
18	Dimensions à intégrer dans un système de supervision embarquée de l'activité de conduite (de [Coughlin et al., 2011])	83
19	Exemple de diagnostics d'hypovigilance du dispositif DMS et comparaison avec des mesures d'EEG (extrait de [Boverie and Giralt, 2005])	84
20	Architecture fonctionnelle d'un copilote intégré [Bellet et al., 2011]	86
21	Relation entre les atteintes liées au vieillissement et leurs conséquences, et les besoins en assistance à la conduite (de [Chin et al., 2013])	87
22	Pyramide AUTOS : 5 composants d'un système homme machine (adapté de [Boy, 2011] - à partir du dessin de [Millot, 2013])	90
23	Instanciation de la pyramide AUTOS pour notre démarche	92
24	Architecture fonctionnelle d'un futur dispositif de monitoring et de gestion adaptative des ADAS, adaptés aux besoins des seniors (adapté de [Bellet et al., 2011])	97
25	Synoptique général de la démarche méthodologique en Cognitique, pour la collecte de données à des fins de conception de monitoring	98
26	Vues intérieures et extérieures du véhicule VICTOR	99

27	Illustration des différentes vues orientées vers le conducteur	101
28	Illustration des vues caméras renseignant sur l'environnement routier	102
29	Tracé GPS du parcours : sur un fond de carte à gauche - en ajoutant le nombre de voies de circulation à droite extrait de la base de données IGN-ROUTE500 . . .	103
30	Illustration de l'entretien d'explicitation de l'activité avec un participant	104
31	Exemple d'échelle présentée au participant	104
32	Synoptique de la démarche Cognitive de conception Centrée sur l'Humain de fonctions de Monitoring pour de futurs E-ADAS	106
33	Exemple de visualisation d'une phase d'activité de conduite sur le périphérique .	108
34	Formalisme visuel de description du parcours expérimental	114
35	Lieux de domiciliation des 76 participants reçus pour l'expérimentation sur route	115
36	Échelle utilisée pour la difficulté globale des situations de conduite autoconfrontées	117
37	Exemple de zone de conflit dans un carrefour en croix	121
38	Schéma tactique du TàG Poudrette	122
39	Vue d'ensemble des observations en situations de TàG	124
40	Notes monitrice pour TàG poudrette1 et 2, par participant	125
41	Angle volant normal à gauche (Eld02) - signe d'une régulation à droite de Eld25 dans le TàG_Poudrette1 et ses auto-évaluations	127
42	Vue avant et jugements AC pour Eld14_Tag_Poudrette2	128
43	Vues quadravision et AC pour position d'attente Eld67_tag_poudrette1	129
44	Chronique d'activité Eld31_Tag_Poudrette1	130
45	Chronique Eld52_Tag_Poudrette2 - focalisation sur une partie du flux opposé .	132
46	Vues vidéo et jugements AC Eld55_Tag_Poudrette2	133
47	Illustration d'une représentation mentale erronée	134
48	Schéma tactique de franchissement de Rp_7Chemins	135
49	Vue d'ensemble des observations en franchissement de Ronds-Points	137
50	Notes monitrice pour Rp_7Chemins et Rp_CxLuiset, par participant	138
51	Vues satellite et conducteur du Rp_7Chemins	140
52	Eld28_Rp_7Chemins, vues vidéo et jugements AC	143
53	Cas de refus de priorité dans un rond-point	145
54	Cas de saisie du volant pour cause de mauvais placement dans l'anneau (ChV pendant la recherche de direction, en présence d'un véhicule à gauche)	146
55	Vue d'ensemble des observations en autres intersections	148
56	Cas d'espace d'insertion trop court, en cédez-le-passage	150
57	Cas de démarrage au feu rouge du fait d'une représentation mentale erronée . . .	151
58	Cas d'arrêt au feu vert du fait d'une représentation mentale erronée	152
59	Cas de confusion feu rouge et cédez-le-passage (représentation mentale erronée) .	153
60	Limitations de vitesse sur le parcours expérimental	156
61	Cas de visualisation de la vitesse légale et de la vitesse d'un conducteur	156
62	Exemple de visualisation de la vitesse légale et de la vitesse d'un conducteur sur les deux portions de périphérique (portion aller à gauche, retour à droite)	159
63	Répartition du temps passé par gamme de vitesse, sur les portions à 90 km/h du périphérique, par participant	160

64	Répartition du temps passé par gamme de vitesse, sur la portion à 50 km/h de la bretelle de jonction, par participant	161
65	Chronique Eld42_BretelleA43 - vitesse en inadéquation avec le flot de circulation	163
66	TIV moyen par participant, du plus éloigné au plus proche	166
67	Gammes de proximité du suivi par participant, par temps en suivi croissant . . .	167
68	Pourcentage de temps en suivi effectif critique	168
69	Illustration des paramètres pour la position du véhicule dans la voie	171
70	Score défaut de maîtrise de position dans la voie sur voies rapides	172
71	Cas de <i>mordu</i> à gauche pour le dépassement d'un camion, hors périphérique . . .	173
72	Cas de <i>mordu</i> à gauche, en virage, pendant qu'un véhicule dépasse notre conducteur	173
73	Cas de <i>mordu</i> à droite, en approche de TàG, perturbant le trafic arrière	174
74	Vue d'ensemble des observations Changements de voie	176
75	Vue conducteur et plan de ChV_dir_7Chemins	179
76	Vue satellite de ChV_guill	180
77	Cas 1 : Double changement voie avec négligence de vérification	182
78	Cas 3 : Changement de voie sans contrôle de l'angle mort en présence d'une moto	185
79	Cas 4 : Mauvaise estimation de l'espace disponible, malgré plusieurs contrôles rétroviseur	186
80	Schéma tactique pour l'insertion 1 du parcours	187
81	Vue d'ensemble des observations en Insertions	188
82	Vue satellite de l'insertion 1	190
83	Cas d'insertion difficile	191
84	Chronique Eld65_Insertion 1	192
85	Contextes de survenue de difficultés ou erreurs de conduite	193
86	Échelle générique utilisée pour l'analyse des difficultés	203
87	Échelle générique utilisée pour l'analyse des besoins en assistances	204
88	Illustration du principe d'auto-répartition des ressources en conduite	205
89	Navigation : items difficultés, erreurs et confiance en soi	206
90	Navigation : valeurs moyennes difficultés, erreurs et confiance en soi	206
91	Aides à la navigation : item usages, utilité perçue et attentes	207
92	Aides à la navigation : valeurs moyennes usages, utilité perçue et attentes	208
93	Illustrations de navigateurs avancés présentés aux participants (type vision tête-haute à gauche, réalité augmentée à droite)	208
94	Attitudes, pratiques et difficultés en matière de respect des limitations de vitesse	210
95	Vitesse : attitudes, pratiques et difficultés moyennes	211
96	Aides au contrôle de la vitesse : usages, utilité perçue et attentes	212
97	Aides au contrôle de la vitesse : possession d'un système	212
98	Aides au contrôle de la vitesse : valeurs moyennes usages, utilité perçue et attentes	213
99	Franchissement d'intersections : difficultés rencontrées, pratiques et erreurs	214
100	Franchissement d'intersections : valeurs moyennes difficultés, pratiques et erreurs	215
101	Trois philosophies d'aide au TàG présentées aux participants	216
102	Aides en intersection : usages, utilité perçue et attentes	216
103	Aides en situation d'intersection : valeurs moyennes d'utilité perçue	216
104	Insertions sur voies rapides : difficultés rencontrées	218

105	Insertions sur voies rapides : valeurs moyennes des difficultés	218
106	Aides à l'insertion sur voies rapides : utilité perçue	219
107	Aides à l'insertion : valeurs moyennes d'utilité perçue	219
108	Changements de voie : difficultés rencontrées en milieu urbain et voies rapides . .	220
109	Changements de voie : valeurs moyennes de difficulté en fonction du contexte . .	220
110	Aides au changement de voie : utilité perçue	221
111	Aides au changement de voie : valeurs moyennes d'utilité perçue	221
112	Automatisation : souhait, utilité perçue et acceptabilité	222
113	Utilité et acceptabilité moyennes des fonctions d'automatisation de la conduite .	222
114	Difficultés d'interaction avec les autres usagers	224
115	Difficultés moyennes d'interaction avec les autres usagers	224
116	Types d'incivilités en provenance des autres usagers	226
117	Valeurs moyennes par types d'incivilités d'autrui	226
118	Contextes de survenue d'incivilités en provenance d'autres usagers	227
119	Valeurs moyennes par contextes des incivilités d'autrui	227
120	Répartition moyenne des ressources - Conduite sur un itinéraire familial	229
121	Répartition moyenne des ressources - Conduite sur un itinéraire non familial . . .	230
122	Comparaison de la répartition moyenne des ressources, itinéraire familial versus non familial	231
123	Table de correspondance entre le code couleur et les valeurs numériques	231
124	Hierarchisation des difficultés de conduite	233
125	Hierarchisation des systèmes d'aide à la conduite par les séniors à partir des valeurs d'utilité perçue	235
126	Différentes positions du véhicule dans sa voie	241
127	Diagramme états-transitions pour la position dans la voie	243
128	Score de défaut de maîtrise de la position dans la voie sur voies rapide	245
129	Diagnostic de sortie de voie à partir du paramètre ALDW de Continental, couplé avec notre jugement d'excentration et à des informations contextuelles	246
130	Fonction de monitoring de la sur-vitesse et de la sous-vitesse dans le formalisme des Statecharts de Stateflow	249
131	Répartition du temps passé par gamme de vitesse, sur les portions à 90 km/h du périphérique, par participant	250
132	Exemple de diagnostic de sous-vitesse « entropique »	251
133	Différentes gammes de TIV	253
134	Pourcentage du temps passé en suivi avec TIV inférieur à 1,2 secondes	253
135	Tableau des participants présentant des TIV inférieurs à 0,6 seconde	254
136	TIV « critique » d'une durée supérieure à 3 secondes	255
137	Repère de l'infrastructure (à gauche) & zones de déplacement (à droite)	257
138	Phasage de l'activité de franchissement d'un TàG	257
139	Exemple de diagnostic d'une position d'arrêt gênante	259
140	Exemple de diagnostic d'une trajectoire dangereuse	260
141	Illustration des différentes configurations de rencontre de zones enveloppes entre deux véhicules circulant en sens opposé lors d'un TàG (adapté de [Bornard, 2012])	261
142	Détermination des conflits de zones enveloppes en fonction du TIV et de la trajectoire	262

143	Matrice des risques de conflits de zones enveloppes (adapté de [Bornard, 2012]) .	262
144	Distances théoriques minimales et maximales à parcourir dans le TàG Poudrette	263
145	Évolution dynamique des conflits de zones enveloppes au cours de la manœuvre .	264
146	Illustration d'un principe de réalité augmentée pour l'aide à la sélection d'un créneau d'insertion	264
147	Schéma tactique d'insertion sur voies rapides	266
148	Phasage de l'activité en insertion, comportements attendus versus problématiques	267
149	Diagramme états-transitions d'une séquence de changement de voie	268
150	Fonction de monitoring des stratégies visuelles	269
151	Pourcentage de temps passé dans chaque gamme de vitesse sur les 500 premiers mètres du périphérique, incluant l'insertion	270
152	Tracés de la vitesse du véhicule en fonction de la distance parcourue (500 premiers mètres) pour 75 participants	271
153	Schéma de communication entre l'outil de rejeu de données (BIND) et l'outil d'exécution des modèles (Stateflow)	272
154	Architecture de la structure Matlab	308
155	Exemple d'arborescence dans la structure pour le paramètre angle volant	309
156	Schéma de la méthode de synchronisation via la pédale de frein	310
157	Résultat de la synchronisation vidéo - mopad - données CAN (kvaser)	311
158	Images vidéos (enrichies et mixées) collectées durant l'expérimentation LESCOT	324
159	Modélisation de l'activité de franchissement d'un virage à droite, au niveau tactique	327
160	Exemple de statecharts à deux états (ici en bleu l'état actif).	331
161	Exemple de modélisation d'une boîte de vitesse automatique.	331

Liste des tableaux

1	Orthogonalité des niveaux identifiés par [Michon, 1979] et [Rasmussen, 1986], adapté de [Hale et al., 1990]	11
2	Erreurs de conduite des conducteurs âgés en fonction de la tâche de conduite (adapté de [Vlahodimitrakou et al., 2013])	64
3	Les 10 niveaux d'automatisation (d'après [Sheridan and Verplank, 1978])	79
4	Vue d'ensemble des dimensions de la conduite auto-évaluées par le participant	105
5	Items présentés aux participants dans le questionnaire	105
6	Description du parcours expérimental	113
7	Dimensions de la conduite auto-évaluées par le participant	116
8	Tâches ou manœuvres évaluées par la monitrice	119
9	Items présentés aux participants dans le questionnaire	119
10	TàG observés sur le parcours	123
11	Remarques monitrice pour les situations de TàG	125
12	Classification des situations-problèmes en TàG	126
13	Rp observés sur le parcours	136
14	Remarques monitrice pour les franchissements de Ronds-Points	138
15	Classification des situations-problèmes en Ronds-Points	138
16	Répartition des trajectoires dans Rp_7Chemins	140
17	Utilisation des clignotants dans Rp_7Chemins	141
18	Intersections Non prioritaires du parcours	147
19	Remarques monitrice pour les autres intersections	149
20	Classification des situations-problèmes en autres Intersections	149
21	Valeurs moyennes des indicateurs de sur-vitesse par limitations de vitesse	158
22	Valeurs moyennes de différentiel (Vit. légale - Vit. participant), par limitations	158
23	Résultats moyens pour les intervalles de vitesses pratiquées sur voies rapides	160
24	Vitesse pratiquée dans la bretelle et résultats moyens	161
25	Valeurs moyennes générales pour tous les suivis identifiés	166
26	Temps moyen passé dans chaque gamme de TIV pour tous les suivis identifiés	166
27	Valeurs moyennes en suivi, 15 participants favorisant la gamme 3.0-1.8 secondes	168
28	ChV observés sur le parcours	176
29	Remarques monitrice pour les manœuvres de ChV	177
30	Classification des situations-problèmes en Changements de voie / dépassements	177
31	Remarques monitrice pour les manœuvres d'Insertionss	189
32	Classification des situations-problèmes en Insertion	189
33	Bilan des interventions de la monitrice	196
34	Bilan des réactions manifestes d'autres usagers	197
35	Dimensions de la conduite pour lesquelles les ressources sont à répartir	229

Bibliographie

- [Ajzen and Fishbein, 1980] Ajzen, I. and Fishbein, M. (1980). Understanding attitudes and predicting social. *Behaviour. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.*
- [Akamatsu et al., 2013] Akamatsu, M., Green, P., and Bengler, K. (2013). Automotive technology and human factors research : Past, present, and future. *International journal of vehicular technology*, 2013.
- [Allen et al., 1971] Allen, T., Lumenfeld, H., and Alexander, G. (1971). Driver information needs. Technical report.
- [Amalberti, 1996] Amalberti, R. (1996). *La conduite de systèmes à risque*. Presses universitaires de France.
- [Amalberti, 2001] Amalberti, R. (2001). La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie française*, 46(2) :107–118.
- [Amalberti et al., 2005] Amalberti, R., Auroy, Y., Berwick, D., and Barach, P. (2005). Five system barriers to achieving ultrasafe health care. *Annals of internal medicine*, 142(9) :756–764.
- [Ammoun et al., 2010] Ammoun, S., Nashashibi, F., and Brageton, A. (2010). Design of a new gis for adas oriented applications. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE*, pages 712–716. IEEE.
- [Anderson, 1983] Anderson, J. R. (1983). The architecture of cognition. *Cambridge : MA.*
- [Anstey et al., 2005] Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S., and Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical psychology review*, 25(1) :45–65.
- [Assailly, 1992] Assailly, J.-P. (1992). *Les jeunes et le risque : une approche psychologique de l'accident*.
- [Baddeley, 1986] Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Clarendon Press, Oxford.
- [Bailly, 2004] Bailly, B. (2004). *Conscience de la situation des conducteurs : Aspects fondamentaux, méthodes, et application pour l aformation des conducteurs*. PhD thesis, Université Lumière Lyon II.
- [Bailly et al., 2003] Bailly, B., Bellet, T., and Goupil, C. (2003). Drivers' mental representations : experimental study and training perspectives. In *International Conference on Driver Behaviour and Training, 1st, 2003, Stratford-Upon-Avon, United Kingdom*.
- [Baldock et al., 2006] Baldock, M. R. J., Mathias, J. L., McLean, A., and Berndt, A. (2006). Self-regulation of driving and its relationship to driving ability among older adults. *Accident Analysis & Prevention*, 38(5) :1038–1045.

- [Banet, 2010] Banet, A. (2010). *Conscience du risque et attitudes face aux risques chez les motocyclistes*. PhD thesis, Université Lumière Lyon II.
- [Bao and Boyle, 2009] Bao, S. and Boyle, L. N. (2009). Age-related differences in visual scanning at median-divided highway intersections in rural areas. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1) :146–152.
- [Barbé and Boy, 2006] Barbé, J. and Boy, G. (2006). On-board system design to optimise energy management. In *Proceedings of the European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control (EAM 06), September 27-29, 2006, Valenciennes, France*.
- [Bellamy and Beaumel, 2014] Bellamy, V. and Beaumel, C. (2014). Bilan démographique 2013.
- [Bellet, 1998] Bellet, T. (1998). *Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain : une application à la conduite automobile*. PhD thesis, Université Paris 5.
- [Bellet et al., 2009] Bellet, T., Bailly-Asuni, B., Mayenobe, P., and Banet, A. (2009). A theoretical and methodological framework for studying and modelling drivers' mental representations. *Safety Science*, 47 :1205 – 1221.
- [Bellet and Banet, 2012] Bellet, T. and Banet, A. (2012). Towards a conceptual model of motorcyclists' risk awareness : A comparative study of riding experience effect on hazard detection and situational criticality assessment. *Accident Analysis and Prevention*, 49 :154–164.
- [Bellet et al., 2010a] Bellet, T., Boverie, S., Boy, G., Hoc, J.-M., et al. (2010a). De l'interaction à la coopération homme-machine : vers le copilotage automobile. *Interaction homme-machine dans les transports*, pages 151–177.
- [Bellet et al., 2002] Bellet, T., Bruyas, M., Tattegrain-Veste, H., Forzy, J., Simoes, A., Carvalhais, J., Lockwood, P., Boudy, J., Baligand, B., Damiani, S., et al. (2002). "real time" analysis of the driving situation in order to manage on-board information. In *proceedings of the e-safety congress and exhibition-it solutions for safety and security in intelligent transport, held lyon, france, september 2002-cd rom*.
- [Bellet et al., 2011] Bellet, T., Hoc, J.-M., Boverie, S., Boy, G., et al. (2011). From human-machine interaction to cooperation : towards automobile co-piloting. *Human-computer interactions in transport*, pages 129–155.
- [Bellet et al., 2012a] Bellet, T., Mayenobe, P., Bornard, J.-C., Gruyer, D., and Claverie, B. (2012a). A computational model of the car driver interfaced with a simulation platform for future virtual human centred design applications : Cosmo-sivic. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25 :1488–1504.
- [Bellet et al., 2010b] Bellet, T., Mayenobe, P., Bornard, J.-C., Gruyer, D., and Mathern, B. (2010b). Cosmo-sivic : a first step towards a virtual platform for human centred design of driving assistances. *Proceeding of the 11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design and Evaluation, Valenciennes*.

- [Bellet et al., 2012b] Bellet, T., Paris, J.-C., Deleurence, P., Bonnard, A., and Moreau, F. (2012b). Modélisation de l'activité pour le jugement d'adéquation des comportements et perspectives d'intégration pour une gestion temps réel des interactions homme-machine. Technical report, Rapport PARTAGE n°L3-5-3 / L3-5-4, 73 p.
- [Bellet et al., 2012c] Bellet, T., Paris, J.-C., Mathern, B., Deleurence, P., and F., M. (2012c). Analyse des sorties de voie observées en conditions réelles de conduite. Technical report, Rapport PARTAGE n° L3-5-2, 44p.
- [Bellet et al., 2003] Bellet, T., Tattegrain-Veste, H., Chapon, A., Bruyas, M., Pachiaudi, G., Deleurence, P., and Guilhon, V. (2003). Ingénierie cognitive dans le contexte de l'assistance à la conduite automobile. *Ingénierie Cognitive. Lavoisier, Paris*.
- [Berry et al., 2003] Berry, S., Mangione, C. M., Lindblad, A. S., and McDonnell, P. J. (2003). Development of the national eye institute refractive error correction quality of life questionnaire : focus groups. *Ophthalmology*, 110(12) :2285–2291.
- [Bisseret, 1970] Bisseret, A. (1970). Mémoire opérationnelle et structure du travail. *Bulletin de psychologie*, 24(5-6) :280–294.
- [Blanchard et al., 2010] Blanchard, R. A., Myers, A. M., and Porter, M. M. (2010). Correspondence between self-reported and objective measures of driving exposure and patterns in older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2) :523–529.
- [Blanpain and Chardon, 2010] Blanpain, N. and Chardon, O. (2010). Projections de population à l'horizon 2060 - un tiers de la population âgé de plus de 60 ans.
- [Blosseville and Flonneau, 2014] Blosseville, J.-M. and Flonneau, M. (2014). From traffic signal control systems to automated driving, a review of its systems based on a cross historical and technical perspective. In *Proceeding of the 5th Transport Research Arena, Paris*.
- [Bolstad, 2000] Bolstad, C. A. (2000). Age-related factors affecting the perception of essential information during risky driving situations. In *Human Performance, Situation Awareness, and Automation Conference, Savannah, GA*.
- [Bornard, 2012] Bornard, J.-C. (2012). *Développement d'un modèle du conducteur automobile : De la modélisation cognitive à la simulation numérique*. PhD thesis, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I.
- [Boverie and Giralt, 2005] Boverie, S. and Giralt, A. (2005). Driver monitoring systems, a key technology for solving adas challenge. In *3rd Technical Symposium on Intelligent Vehicles, Barcelona International Motor Show May 11th 2005*.
- [Boverie and Giralt, 2008] Boverie, S. and Giralt, A. (2008). Driver vigilance diagnostic based on eyelid movement observation. In *Proceedings of the 17th IFAC World Congress, Seoul, South Korea*.
- [Boverie et al., 1998] Boverie, S., Giralt, A., Lequelles, J., and Hirl, A. (1998). Intelligent system for video monitoring of vehicle cockpit. Technical report, SAE Technical Paper.
- [Boy, 2003] Boy, G. (2003). *Ingénierie cognitive : IHM et cognition*. Hermes science.

- [Boy, 2011] Boy, G. A. (2011). *The handbook of human-machine interaction : a human-centered design approach*. Ashgate Publishing.
- [Boy, 2013] Boy, G. A. (2013). *Orchestrating human-centered design*. Springer.
- [Braitman et al., 2007] Braitman, K. A., Kirley, B. B., Ferguson, S., and Chaudhary, N. K. (2007). Factors leading to older drivers' intersection crashes. *Traffic Injury Prevention*, 8(3) :267–274.
- [Braitman and Williams, 2011] Braitman, K. A. and Williams, A. F. (2011). Changes in self-regulatory driving among older drivers over time. *Traffic injury prevention*, 12(6) :568–575.
- [Burke and Peters, 1986] Burke, D. M. and Peters, L. (1986). Word associations in old age : Evidence for consistency in semantic encoding during adulthood. *Psychology and Aging*, 1(4) :283.
- [Cattell, 1967] Cattell, R. B. (1967). La théorie de l'intelligence fluide et cristallisée. *Revue de psychologie appliquée*, XII, 3 :135–154.
- [Cellier, 1996] Cellier, J. (1996). Exigences et gestion temporelle dans les environnements dynamiques. *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*, pages 20–48.
- [Chapman et al., 2014] Chapman, L., Sargent-Cox, K., Horswill, M. S., and Anstey, K. J. (2014). The impact of age stereotypes on older adults' hazard perception performance and driving confidence. *Journal of Applied Gerontology*.
- [Charlton et al., 2006] Charlton, J. L., Oxley, J., Fildes, B., Oxley, P., Newstead, S., Koppel, S., and O'Hare, M. (2006). Characteristics of older drivers who adopt self-regulatory driving behaviours. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 9(5) :363–373.
- [Chen et al., 2013] Chen, K.-H., Anderson, S. W., Rusch, M. L., Aksan, N. S., Dawson, J. D., and Rizzo, M. (2013). Choking under pressure in older drivers. In *7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*, number 66.
- [Chin et al., 2013] Chin, E., Marin-Lamellet, C., Bellet, T., Wilstrand, T. D., Broberg, T., Boverie, S., Gurte, F., Ojeda, L., and Stave, C. (2013). Potential benefit of driving assistance systems for senior drivers in critical situations. safemove deliverable d3.1.2, 43. safemove project. Technical report.
- [Clarke et al., 2010] Clarke, D. D., Ward, P., Bartle, C., and Truman, W. (2010). Older drivers' road traffic crashes in the uk. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4) :1018–1024.
- [Claverie, 2005] Claverie, B. (2005). *Cognitive : Science et pratique des relations à la machine à penser*.
- [Claverie, 2010] Claverie, B. (2010). *L'Homme Augmenté : Néotechnologies pour un dépassement du corps et de la pensée*. Cognition et Formation. Harmattan, Paris.
- [Clot, 1999] Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Presses Universitaires de France-PUF.

- [Collette and Salmon, 2014] Collette, F. and Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie Française*, 59(1) :41–58.
- [Coughlin et al., 2009] Coughlin, J. F., Reimer, B., and Mehler, B. (2009). Driver wellness, safety & the development of an awarecar. *AgeLab, Mass Inst. Technol., Cambridge, MA*.
- [Coughlin et al., 2011] Coughlin, J. F., Reimer, B., and Mehler, B. (2011). Monitoring, managing, and motivating driver safety and well-being. *IEEE Pervasive Computing*, 10(3).
- [Craik, 1986] Craik, F. I. (1986). A functional account of age differences in memory. *Human memory and cognitive capabilities : Mechanisms and performances*, pages 409–422.
- [Craik and Byrd, 1982] Craik, F. I. and Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits. In *Aging and cognitive processes*, pages 191–211. Springer.
- [Crick and McKenna, 1992] Crick, J. and McKenna, F. (1992). Hazard perception : can it be trained? In *behavioural research in road safety ii. proceedings of a seminar, 17-18 september 1991, manchester university (trl published article pa 2193/92)*.
- [Darses et al., 2004] Darses, F., Falzon, P., and Munduteguy, C. (2004). Paradigmes et modèles pour l’analyse cognitive des activités finalisées. *Ergonomie. Paris : PUF. Chapitre*, 12 :191–212.
- [Davidse, 2006] Davidse, R. (2006). Older drivers and adas. *IATSS Res*, 30(1) :6–20.
- [Davidse, 2007] Davidse, R. J. (2007). *Assisting the older driver : intersection design and in-car devices to improve the safety of the older driver*. PhD thesis, University of Groningen.
- [De Simone et al., 2006] De Simone, V., Kaplan, L., Patronas, N., Wassermann, E. M., and Grafman, J. (2006). Driving abilities in frontotemporal dementia patients. *Dementia and geriatric cognitive disorders*, 23(1) :1–7.
- [Decortis and Cacciabue, 1991] Decortis, F. and Cacciabue, C. (1991). Modélisation cognitive et analyse de l’activité. *R. Amalberti, M. de Montmollin et J. Theureau, Modèles en analyse du travail. Liège : Mardaga*.
- [Dickerson et al., 2007] Dickerson, A. E., Molnar, L. J., Eby, D. W., Adler, G., Bédard, M., Berg-Weger, M., Classen, S., Foley, D., Horowitz, A., Kerschner, H., et al. (2007). Transportation and aging : A research agenda for advancing safe mobility. *The Gerontologist*, 47(5) :578–590.
- [Eby et al., 2009] Eby, D. W., Molnar, L. J., and Kartje, P. S. (2009). *Maintaining safe mobility in an aging society*. CRC Press.
- [Edwards et al., 2009] Edwards, J. D., Lunsman, M., Perkins, M., Rebok, G. W., and Roth, D. L. (2009). Driving cessation and health trajectories in older adults. *The Journals of Gerontology Series A : Biological Sciences and Medical Sciences*, 64(12) :1290–1295.
- [Elliott et al., 2004] Elliott, T. R., Rivera, P., and Tucker, E. (2004). Groups in behavioral health and medical settings. *Handbook of group counseling and psychotherapy*, pages 338–350.

- [Endsley, 1995] Endsley, M. R. (March 1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors : The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37 :32–64(33).
- [Evans, 2000] Evans, L. (2000). Risks older drivers face themselves and threats they pose to other road users. *International journal of epidemiology*, 29(2) :315–322.
- [Fishbein and Ajzen, 1975] Fishbein, M. and Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention and behavior : An introduction to theory and research*.
- [Fitts, 1951] Fitts, P. (1951). *Engineering psychology and equipment design, Handbook of Experimental Psychology*. Wiley , New York.
- [Freund et al., 2008] Freund, B., Colgrove, L. A., Petrakos, D., and McLeod, R. (2008). In my car the brake is on the right : pedal errors among older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1) :403–409.
- [Georgeon, 2008] Georgeon, O. (2008). *Analyse de traces d'activité pour la modélisation cognitive : Application à la conduite automobile*. PhD thesis, Université Lumière Lyon II.
- [Glaser et al., 2012] Glaser, S., Cour, M., Nouveliere, L., Lambert, A., Nashashibi, F., Popieul, J.-C., and Mourllion, B. (2012). Low speed automation, a french initiative. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48 :1764–1774.
- [Gély-Nargeot et al., 2000] Gély-Nargeot, M., Mure, C., Guérin-Langlois, C., Martin, K., and Descours, L. (2000). Dossier-memoire et vieillissement-effet du vieillissement cognitif sur les performances mnésiques. *Presse Medicale*, 29(15) :849–857.
- [Granié and Papafava, 2011] Granié, M.-A. and Papafava, E. (2011). Gender stereotypes associated with vehicle driving among french preadolescents and adolescents. *Transportation research part F : traffic psychology and behaviour*, 14(5) :341–353.
- [Grayson and Groeger, 2000] Grayson, G. and Groeger, J. (2000). Risk, hazard perception, and perceived control. In *Proceedings of the novice drivers conference held Bristol, UK, 1-2 JUNE 2000*.
- [Green, 2013] Green, P. (2013). Standard definitions for driving measures and statistics : overview and status of recommended practice j2944. In *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, pages 184–191. ACM.
- [Gurney, 2013] Gurney, J. K. (2013). Sue my car not me : Products liability and accidents involving autonomous vehicles. *U. Ill. JL Tech. & Pol'y*, 13 :247–423.
- [Haddon Jr, 1972] Haddon Jr, W. (1972). A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 12(3) :193–207.
- [Haegerstrom-Portnoy et al., 1999] Haegerstrom-Portnoy, G., Schneck, M. E., and Brabyn, J. A. (1999). Seeing into old age : vision function beyond acuity. *Optometry & Vision Science*, 76(3) :141–158.

- [Hakamies-Blomqvist et al., 2004] Hakamies-Blomqvist, L., Sirén, A., and Davidse, R. (2004). *Older drivers : a review*. Swedish National Road and Transport Research Institute.
- [Hale et al., 1990] Hale, A., Stoop, J., and Hommels, J. (1990). Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport systems. *Ergonomics*, 33(10-11) :1377–1387.
- [Hamel, 1997] Hamel, J. (1997). *Étude de cas et sciences sociales*. Montréal : Harmattan.
- [Harel, 1987] Harel, D. (1987). Statecharts : A visual formalism for complex systems. *Science of computer programming*, 8(3) :231–274.
- [Haworth and Mulvihill, 2006] Haworth, N. L. and Mulvihill, C. (2006). A comparison of hazard perception and responding in car drivers and motorcyclists.
- [Heide and Henning, 2006] Heide, A. and Henning, K. (2006). The cognitive car : A roadmap for research issues in the automotive sector. *Annual reviews in control*, 30(2) :197–203.
- [Ho et al., 2005] Ho, G., Kiff, L. M., Plocher, T., and Haigh, K. Z. (2005). A model of trust & reliance of automation technology for older users. In *AAAI-2005 Fall Symposium : Caring Machines : AI in Eldercare*.
- [Hoc, 1991] Hoc, J.-M. (1991). L'extraction des connaissances et l'aide à l'activité humaine. *Intellectica*, 2(12) :33–64.
- [Hoc et al., 2012] Hoc, J.-M., Glaser, S., Forzy, J.-F., Nouvelière, L., and Somat, A. (2012). Contrôle partagé entre conducteur et assistance à la conduite automobile pour une trajectoire sécurisée. rapport de synthèse du projet anr-08-vtt-012-01. Technical report.
- [Hoc et al., 2009] Hoc, J.-M., Young, M. S., and Blosseville, J.-M. (2009). Cooperation between drivers and automation : implications for safety. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 10(2) :135–160.
- [Holland, 2001] Holland, C. A. (2001). Older drivers : a review. *Road Safety Report N°25*.
- [Hollnagel and Woods, 1983] Hollnagel, E. and Woods, D. D. (1983). Cognitive systems engineering : New wine in new bottles. *International Journal of Man-machine Studies*, 18(6) :583–600.
- [Hollnagel and Woods, 2005] Hollnagel, E. and Woods, D. D. (2005). *Joint cognitive systems : Foundations of cognitive systems engineering*. CRC Press.
- [Horswill et al., 2008] Horswill, M. S., Marrington, S. A., McCullough, C. M., Wood, J., Pachana, N. A., McWilliam, J., and Raikos, M. K. (2008). The hazard perception ability of older drivers. *The Journals of Gerontology Series B : Psychological Sciences and Social Sciences*, 63(4) :212–218.
- [Howard and Howard, 1989] Howard, D. V. and Howard, J. H. (1989). Age differences in learning serial patterns : direct versus indirect measures. *Psychology and aging*, 4(3) :357.
- [Hulme and Thorpe, 2013] Hulme, K. F. and Thorpe, L. (2013). A simulation-based assessment approach to increase safety among senior drivers.

- [Inagaki, 2007] Inagaki, T. (2007). Towards monitoring and modelling for situation-adaptive driver assist systems. In *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, pages 43–57. Springer.
- [Inagaki, 2008] Inagaki, T. (2008). Smart collaboration between humans and machines based on mutual understanding. *Annual reviews in control*, 32(2) :253–261.
- [Inagaki and Itoh, 2007] Inagaki, T. and Itoh, M. (2007). Adaptive automation as an ultimate means for assuring safety. In *Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*, volume 10, pages 443–448.
- [Isingrini and Tacconat, 1997] Isingrini, M. and Tacconat, L. (1997). Aspects du vieillissement normal de la mémoire. *Psychologie française*, 42(4) :319–331.
- [Johnson and Keltner, 1983] Johnson, C. A. and Keltner, J. L. (1983). Incidence of visual field loss in 20,000 eyes and its relationship to driving performance. *Archives of Ophthalmology*, 101(3) :371–375.
- [Kline et al., 1992] Kline, D. W., Kline, T. J., Fozard, J. L., Kosnik, W., Schieber, F., and Sekuler, R. (1992). Vision, aging, and driving : The problems of older drivers. *Journal of gerontology*, 47(1) :27–34.
- [Lafflaquière and Prié, 2003] Lafflaquière, J. and Prié, Y. (2003). Modélisation d’utilisation de système pour une assistance à base de trace : une application de Musette à la tâche de veille documentaire. In *Workshop Traces, Interactions, co-constructions collectives et relations à la cognition. AS CoMETE, Paris. Vol. 19*.
- [Lafont, 2008] Lafont, S. (2008). *Sécurité Routière et conducteurs âgés : estimation des enjeux, et contributions des facteurs cognitifs et de la démence : approches épidémiologique, expérimentale et clinique*. PhD thesis, Lyon 1.
- [Lafont et al., 2014] Lafont, S., Mintsä-Eya, C., Coquillat, A., Marie Dit Asse, L., Chavoix, C., Paire-Ficout, L., and Fabrigoule, C. (2014). Safe move : Factors leading to strong overestimation of cognitive performances in older drivers : first results from a cohort study in france. In *Proceedings of th 28th International Congress of Applied Psychology, Paris, France*.
- [Lallemant et al., 2013] Lallemant, S., Paire-Ficout, L., Chavoix, C., Lafont, S., Levin, L., and Fabrigoule, C. (2013). Identification of the potential discrepancies of challenging situations/scenarios according to crash studies and drivers themselves. safemove deliverable d1.1, 28. safemove project. Technical report.
- [Langford and McDonagh, 2003] Langford, J. and McDonagh, D. (2003). *Focus groups : supporting effective product development*. CRC press.
- [Langford et al., 2006] Langford, J., Methorst, R., and Hakamies-Blomqvist, L. (2006). Older drivers do not have a high crash risk -a replication of low mileage bias. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3) :574–578.
- [Laurgeau, 2009] Laurgeau, C. (2009). *Le siècle de la voiture intelligente*. Presses des MINES.

- [Le Lay et al., 2013] Le Lay, T., Dommès, A., Perrot Beaudoin, A., and Do, M. C. (2013). Caractéristiques des collisions des piétons jeunes et âgés en situation de traversée de rue à double sens de circulation. In *4ème colloque du GERI COPIE, "La ville sous nos pieds : connaissances et pratiques favorables aux mobilités piétonnes"*, page 8, Canada.
- [Lee and See, 2004] Lee, J. D. and See, K. A. (2004). Trust in automation : Designing for appropriate reliance. *Human Factors : The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 46(1) :50–80.
- [Leontiev, 1974] Leontiev, A. N. (1974). The problem of activity in psychology. *Journal of Russian and East European Psychology*, 13(2) :4–33.
- [Leplat, 1982] Leplat, J. (1982). Le terrain, stimulant (ou obstacle) au développement de la psychologie cognitive. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*.
- [Leplat, 1985] Leplat, J. (1985). Les représentations fonctionnelles dans le travail. *Psychologie française*, 30(3) :4.
- [Leplat, 2002] Leplat, J. (2002). De l'étude de cas à l'analyse de l'activité. *Pistes, www.unites.uqam.ca/pistes*, 4(2) :34.
- [Leplat, 2004] Leplat, J. (2004). L'analyse psychologique du travail. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 54(2) :101 – 108.
- [Leplat and Hoc, 1983] Leplat, J. and Hoc, J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de psychologie cognitive*, 3(1) :49–63.
- [Lezak, 2004] Lezak, M. D. (2004). *Neuropsychological assessment*. Oxford university press.
- [Li et al., 2003] Li, G., Braver, E. R., and Chen, L.-H. (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.
- [Li et al., 2012] Li, L., Wen, D., Zheng, N.-N., and Shen, L.-C. (2012). Cognitive cars : A new frontier for adas research. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 13(1) :395–407.
- [Light, 2000] Light, L. L. (2000). Memory changes in adulthood.
- [Loarer, 2007] Loarer, E. (2007). Relations entre activités professionnelles et évolutions avec l'âge des capacités cognitives. communication présentée au séminaire du gic, genève.
- [Lyman et al., 2002] Lyman, S., Ferguson, S. A., Braver, E. R., and Williams, A. (2002). Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes : trends and projections. *Injury Prevention*, 8(2) :116–120.
- [Malaterre, 1987] Malaterre, G. (1987). *Les activités sous contrainte de temps : le cas des manœuvres d'urgence en conduite automobile*. PhD thesis, Paris 5.
- [Malaterre, 1994] Malaterre, G. (1994). Méthode de mesure de la charge de travail en situation de conduite simulée et réelle. *Rapport INRETS(Arcueil)*.

- [Marottoli et al., 2000] Marottoli, R. A., de Leon, C. F. M., Glass, T. A., Williams, C. S., Cooney, L. M., and Berkman, L. F. (2000). Consequences of driving cessation decreased out-of-home activity levels. *The Journals of Gerontology Series B : Psychological Sciences and Social Sciences*, 55(6) :S334–S340.
- [Marottoli et al., 1997] Marottoli, R. A., Mendes de Leon, C. F., Glass, T. A., and Williams, C. S. (1997). Driving cessation and increased depressive symptoms : prospective evidence from the new haven epese. *Journal of the American Geriatrics Society*.
- [Marquié, 2004] Marquié, J. (2004). Les effets de l’expérience et les moyens d’optimisation dans le vieillissement normal. journée spécialisée inrets : « vieillissement et conduite automobile : comment concilier mobilité et sécurité ? ».
- [Marquié and Isingrini, 2001] Marquié, J. and Isingrini, M. (2001). Aspects cognitifs du vieillissement normal. *Vieillesse et psychomotricité*, pages 77–113.
- [Marquié, 1986] Marquié, J.-C. (1986). Perception visuelle et vieillissement. *L’année psychologique*, 86(4) :573–608.
- [Marquié, 1997] Marquié, J.-C. (1997). Vieillesse cognitive et expérience : l’hypothèse de la préservation. *Psychologie française*, 42(4) :333–344.
- [Mathern, 2012] Mathern, B. (2012). *Découverte interactive de connaissances à partir de traces d’activité : Synthèse d’automates pour l’analyse et la modélisation de l’activité de conduite automobile*. PhD thesis, Université Claude Bernard Lyon I.
- [Mathern et al., 2010] Mathern, B., Bellet, T., and Mille, A. (2010). An iterative approach to develop a cognitive model of the driver for human centred design of its. In *European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems, Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*, pages 85–95.
- [Mayhew et al., 2006] Mayhew, D. R., Simpson, H. M., and Ferguson, S. A. (2006). Collisions involving senior drivers : high-risk conditions and locations. *Traffic injury prevention*, 7(2) :117–124.
- [McGwin and Brown, 1999] McGwin, G. and Brown, D. B. (1999). Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 31(3) :181–198.
- [McGwin et al., 2000] McGwin, G., Sims, R. V., Pulley, L., and Roseman, J. 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.
- [McKenna et al., 2006] McKenna, F. P., Horswill, M. S., and Alexander, J. L. (2006). Does anticipation training affect drivers’ risk taking ? *Journal of Experimental Psychology : Applied*, 12(1) :1.
- [McKenna et al., 1991] McKenna, F. P., Stanier, R. A., and Lewis, C. (1991). Factors underlying illusory self-assessment of driving skill in males and females. *Accident Analysis & Prevention*, 23(1) :45–52.

- [McKnight and Adams, 1970] McKnight, A. J. and Adams, B. B. (1970). Driver education task analysis. volume 1 : Task descriptions.
- [Michon, 1979] Michon, J. A. (1979). Dealing with danger. Technical report, Verkeerskundig Studiecentrum Rijksuniversiteit Groningen.
- [Michon, 1985] Michon, J. A. (1985). *A critical view of driver behavior models : what do we know, what should we do ?* Springer.
- [Millot, 2013] Millot, P. (2013). *Ergonomie des systèmes homme-machine : Conception et coopération*. Lavoisier.
- [Minsky, 1975] Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge, psychology of computer vision, ph winston, editor.
- [Miyake et al., 2000] Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., and Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks : A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1) :49–100.
- [Mollo and Falzon, 2004] Mollo, V. and Falzon, P. (2004). Auto-and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied ergonomics*, 35(6) :531–540.
- [Molnar et al., 2013a] Molnar, L. J., Charlton, J. L., Eby, D. W., Bogard, S. E., Langford, J., Koppel, S., Kolenic, G., Marshall, S., and Man-Son-Hing, M. (2013a). Self-regulation of driving by older adults : Comparison of self-report and objective driving data. *Transportation research part F : traffic psychology and behaviour*, 20 :29–38.
- [Molnar and Eby, 2008] Molnar, L. J. and Eby, D. W. (2008). The relationship between self-regulation and driving-related abilities in older drivers : an exploratory study. *Traffic injury prevention*, 9(4) :314–319.
- [Molnar et al., 2013b] Molnar, L. J., Eby, D. W., Charlton, J. L., Langford, J., Koppel, S., Marshall, S., and Man-Son-Hing, M. (2013b). Reprint of "driving avoidance by older adults : Is it always self-regulation ?". *Accident Analysis & Prevention*, 61 :272–280.
- [Monseur and Marchadier, 1971] Monseur, M. and Marchadier, B. (1971). Franchissement des intersections et prise de risque une méthode d'analyse de la situation de conduite aux carrefours. *Le Travail Humain*, pages 81–97.
- [Montmollin, 1995] Montmollin, M. (1995). *Vocabulaire de l'ergonomie*. Octarés Éditions.
- [Motak, 2011] Motak, L. (2011). L'apport des théories métacognitives à l'étude de l'autorégulation chez les conducteurs âgés.
- [Munduteguy and Darses, 2007] Munduteguy, C. and Darses, F. (2007). Perception et anticipation du comportement d'autrui en situation simulée de conduite automobile. *Le travail humain*, 70(1) :1–32.
- [Nakayama et al., 1999] Nakayama, O., Futami, T., Nakamura, T., and Boer, E. R. (1999). Development of a steering entropy method for evaluating driver workload. *SAE transactions*, 108(6 ; PART 1) :1686–1695.

- [Naumann et al., 2011] Naumann, R. B., Dellinger, A. M., and Kresnow, M.-j. (2011). Driving self-restriction in high-risk conditions : How do older drivers compare to others? *Journal of safety research*, 42(1) :67–71.
- [Neboit, 1980] Neboit, M. (1980). *L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes : l'exemple de la conduite automobile*. PhD thesis, Ecole pratique des Hautes Etudes.
- [Neisser, 1976] Neisser, U. (1976). *Cognition and reality : Principles and implications of cognitive psychology*. WH Freeman/Times Books/Henry Holt & Co.
- [Newstead et al., 2004] Newstead, S. V., Cameron, M. H., and Le Chau, M. (2004). *Vehicle crashworthiness and aggressivity ratings and crashworthiness by year of vehicle manufacture : Victoria and NSW crashes during 1987-2002, Queensland, Western Australia and New Zealand crashes during 1991-2002*. Monash University, Accident Research Centre.
- [Norman and Shallice, 1986] Norman, D. A. and Shallice, T. (1986). *Attention to action*. Springer.
- [Ochanine, 1981] Ochanine, D. (1981). L'image opérative. *D. Ochanine éd. - Recuei. Université de Paris I, séminaire d'ergonomie*.
- [Ochanine, 1977] Ochanine, V. (1977). Concept of operative image in engineering and general psychology. *Engineering Psychology. Science Publisher : Moscow*.
- [ONISR, 2013a] ONISR (2013a). La sécurité routière en france - bilan de l'accidentalité de l'année 2012.
- [ONISR, 2013b] ONISR (2013b). Les séniors de 75 ans et plus - observatoire interministériel de la sécurité routière - 4 octobre 2013.
- [ONISR, 2013c] ONISR (2013c). Panorama france métropolitaine 2012 - observatoire national interministériel de la sécurité routière - 7 octobre 2013.
- [ONISR, 2014] ONISR (2014). Bilan annuel de la sécurité routière en france - l'accidentalité routière en 2013 : Bilan sommaire.
- [Owsley et al., 2011] Owsley, C., McGwin Jr, G., and Seder, T. (2011). Older drivers' attitudes about instrument cluster designs in vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6) :2024–2029.
- [Oxley et al., 2005] Oxley, J., Charlton, J., Fildes, B., Koppel, S., Scully, J., Congiu, M., and Moore, K. (2005). *Crash risk of older female drivers*. Number 245. Monash University, Accident Research Centre.
- [Paris et al., 2014] Paris, J.-C., Bellet, T., Cour, M., Marin-Lamallet, C., Deleurence, P., Moreau, F., Boverie, S., Andre, J.-M., Claverie, B., et al. (2014). Driving assistances for senior drivers : a human centered design approach. In *Proceeding of the 5th Transport Research Arena, Paris*.
- [Paris et al., itre] Paris, J.-C., Bellet, T., Marin-Lamallet, C., Cour, M., Boverie, S., and Claverie, B. (A paraitre). Assistance aux conducteurs âgés : Analyse de l'activité pour la conception de ffuture fonctions de monitoring de la conduite automobile. *Recherche Transports Sécurité*, 30 :227–243.

- [Pauzié, 2013] Pauzié, A. (2013). Ergonomie de la conduite automobile. *Ergonomie, Travail, Conception, Santé*.
- [Piaget, 1936] Piaget, J. (1936). La naissance de l'intelligence chez l'enfant. *Delachaux et Niestlé, Lonay, Suisse*.
- [Plude et al., 1996] Plude, D. J., Schwartz, L. K., and Murphy, L. J. (1996). Active selection and inhibition in the aging of attention. *Perspectives on Cognitive Change in Adulthood and Aging. McGraw-Hill : New York*, pages 165–189.
- [Poirier and Saint-Aubin, 1995] Poirier, M. and Saint-Aubin, J. (1995). Memory for related and unrelated words : Further evidence on the influence of semantic factors in immediate serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48(2) :384–404.
- [Posner, 1980] Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1) :3–25.
- [Posner and Snyder, 1975] Posner, M. I. and Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In *Information Processing and Cognition : The Loyola Symposium*. Lawrence Erlbaum.
- [Pérez et al., 2010] Pérez, A., Garcia, M. I., Nieto, M., Pedraza, J. L., Rodriguez, S., and Zamorano, J. (2010). Argos : an advanced in-vehicle data recorder on a massively sensorized vehicle for car driver behavior experimentation. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 11(2) :463–473.
- [Queinnec et al., 1983] Queinnec, Y., Marquié, J.-C., Delvolvé, N., and Chabaud, C. (1983). Stabilités implicites et instabilité réelle des communications hommes-machines. *Psychologie française*, 28(3-4) :265–274.
- [Rabardel, 1995] Rabardel, P. (1995). Les hommes et les technologies.
- [Ranchet, 2011] Ranchet, M. (2011). *Effet de la maladie de Parkinson sur la conduite automobile Implication des fonctions exécutives*. PhD thesis, Université Lumière Lyon II.
- [Rasmussen, 1983] Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge ; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (3) :257–266.
- [Rasmussen, 1986] Rasmussen, J. (1986). Information processing and human-machine interaction. an approach to cognitive engineering.
- [Raz, 2000] Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance : Integration of structural and functional findings.
- [Reason, 1993] Reason, J. (1993). L'erreur humaine. *Paris : Presses Universitaires de France. Traduit par J.-M. Hoc, (Édition originale, 1990)*.
- [Reimer, 2014] Reimer, B. (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.

- [Richard, 1990] Richard, J.-F. (1990). *Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions*. A. Colin.
- [Rosch, 1975] Rosch, E. (1975). Cognitive reference points. *Cognitive psychology*, 7(4) :532–547.
- [Saad, 1987] Saad, F. (1987). Analyse et modèle de la tâche de conduite. *L'analyse des comportements et le système de circulation routière. Actes INRETS*, 2 :299–233.
- [Saad et al., 1992] Saad, F., Delhomme, P., Van Elslande, P., Gauje, T., Nachtergaele, C., Picard-Dore, J., Perrot, C., Soubercaz, J., Perret, G., and Gratia, G. (1992). *Analyse des comportements en situation réelle de conduite : le franchissement d'intersections*. Number 158.
- [Sabey and Staughton, 1975] Sabey, B. and Staughton, G. (1975). Interacting roles of road environment vehicle and road user in accidents. *CESTE I MOSTOVI*.
- [Salthouse, 1990] Salthouse, T. A. (1990). Working memory as a processing resource in cognitive aging. *Developmental review*, 10(1) :101–124.
- [Salthouse and Babcock, 1991] Salthouse, T. A. and Babcock, R. L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental psychology*, 27(5) :763.
- [Salthouse and Davis, 2006] Salthouse, T. A. and Davis, H. P. (2006). Organization of cognitive abilities and neuropsychological variables across the lifespan. *Developmental Review*, 26(1) :31–54.
- [Sargent-Cox et al., 2011] Sargent-Cox, K., Windsor, T., Walker, J., and Anstey, K. J. (2011). Health literacy of older drivers and the importance of health experience for self-regulation of driving behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3) :898–905.
- [Sathian et al., 1997] Sathian, K., Zangaladze, A., Green, J., Vitek, J., and DeLong, M. (1997). Tactile spatial acuity and roughness discrimination : impairments due to aging and parkinson's disease. *Neurology*, 49(1) :168–177.
- [Savino, 2009] Savino, M. R. (2009). *Standardized names and definitions for driving performance measures*. PhD thesis, Tufts University.
- [Schank and Abelson, 1975] Schank, R. C. and Abelson, R. P. (1975). *Scripts, plans, and knowledge*. Yale University.
- [Schneider and Shiffrin, 1977] Schneider, W. and Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing : I. detection, search, and attention. *Psychological review*, 84(1) :1.
- [Sheridan and Verplank, 1978] Sheridan, T. B. and Verplank, W. L. (1978). Human and computer control of undersea teleoperators. Technical report, DTIC Document.
- [Sherman, 2006] Sherman, F. T. (2006). Driving the ultimate iadl. *Geriatrics*, 61(10).
- [Shinoda et al., 2001] Shinoda, H., Hayhoe, M. M., and Shrivastava, A. (2001). What controls attention in natural environments? *Vision research*, 41(25) :3535–3545.

- [Siren et al., 2004] Siren, A., Hakamies-Blomqvist, L., and Lindeman, M. (2004). Driving cessation and health in older women. *Journal of Applied Gerontology*, 23(1) :58–69.
- [Ska and Joannette, 2006] Ska, B. and Joannette, Y. (2006). Vieillesse normale et cognition. *M/S : médecine sciences*, 22(3) :284–287.
- [Skyving et al., 2009] Skyving, M., Berg, H.-Y., and Laflamme, L. (2009). Older drivers' involvement in fatal rctcs. do crashes fatal to them differ from crashes involving them but fatal to others? *Safety Science*, 47(5) :640–646.
- [Smirnov, 1966] Smirnov, A. (1966). La mémoire et l'activité. *Recherches Psychologiques en URSS, Editions du Progrès, Moscou*.
- [Spek et al., 2006] Spek, A., Wieringa, P. A., and Janssen, W. (2006). Intersection approach speed and accident probability. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 9(2) :155–171.
- [Sperandio, 2003] Sperandio, J. (2003). Modèles et formalismes, ou le fond et la forme. *Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie. Paris : Presse Universitaire de France*.
- [Stalvey and Owsley, 2000] Stalvey, B. T. and Owsley, C. (2000). Self-perceptions and current practices of high-risk older drivers : Implications for driver safety interventions. *Journal of Health Psychology*, 5(4) :441–456.
- [Thomas-Antérion and Krolak-Salmon, 2010] Thomas-Antérion, C. and Krolak-Salmon, P. (2010). L'évaluation des fonctions exécutives en pratique courante dans la maladie de parkinson et les syndromes apparentés. *Revue de neuropsychologie*, 2(5) :7–11.
- [Toledo et al., 2008] Toledo, T., Musicant, O., and Lotan, T. (2008). In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 16(3) :320–331.
- [Tulving, 1984] Tulving, E. (1984). Precis of elements of episodic memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 7(02) :223–238.
- [Valdois et al., 1990] Valdois, S., Joannette, Y., Poissant, A., Ska, B., and Dehaut, F. (1990). Heterogeneity in the cognitive profile of normal elderly. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 12(4) :587–596.
- [Van der Linden et al., 1994] Van der Linden, M., Brédart, S., and Beerten, A. (1994). Age-related differences in updating working memory. *British Journal of Psychology*, 85(1) :145–152.
- [Van der Linden et al., 1999] Van der Linden, M., Hupet, M., Feyereisen, P., Schelstraete, M.-A., Bestgen, Y., Bruyer, R., Lories, G., El Ahmadi, A., and Seron, X. (1999). Cognitive mediators of age-related differences in language comprehension and verbal memory performance. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 6(1) :32–55.
- [Van der Molen and Bötticher, 1988] Van der Molen, H. H. and Bötticher, A. M. (1988). A hierarchical risk model for traffic participants. *Ergonomics*, 31(4) :537–555.

- [Van Elslande, 1992] Van Elslande, P. (1992). Les erreurs d'interprétation en conduite automobile : mauvaise catégorisation ou activation erronée de schémas ? *Intellectica*, (15).
- [Van Elslande, 2001] Van Elslande, P. (2001). *Dynamique des connaissances, catégorisation et attentes dans une conduite humaine située : L'exemple des «erreurs accidentelles» en conduite automobile*. PhD thesis.
- [Van Elslande, 2003] Van Elslande, P. (2003). Les erreurs des conducteurs âgés. *Recherche-Transports-Sécurité*, 81 :190–202.
- [Vanderhaegen et al., 2006] Vanderhaegen, F., Chalmé, S., Anceaux, F., and Millot, P. (2006). Principles of cooperation and competition : application to car driver behavior analysis. *Cognition, Technology & Work*, 8(3) :183–192.
- [VanderLinden and Hupet, 1994] VanderLinden, M. and Hupet, M. (1994). *Le vieillissement cognitif*. Presses Universitaires de France-PUF.
- [Vergnaud, 1985] Vergnaud, G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie française*, 30(3-4) :245–251.
- [Verhaeghen, 2003] Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary score : A meta-analysis. *Psychology and aging*, 18(2) :332.
- [Verhaeghen and Cerella, 2002] Verhaeghen, P. and Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention : a review of meta-analyses. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(7) :849–857.
- [Vermeersch, 1994] Vermeersch, P. (1994). *L'entretien d'explicitation en formation initiale et continue*. Paris, ESF Editeur.
- [Vlahodimitrakou et al., 2013] Vlahodimitrakou, Z., Charlton, J., Langford, J., Koppel, S., Di Stefano, M., Macdonald, W., Mazer, B., Gelinas, I., Vrkljan, B., Porter, M., et al. (2013). Development and evaluation of a driving observation schedule (dos) to study everyday driving performance of older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 61 :253–260.
- [Vogel, 2003] Vogel, K. (2003). A comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3) :427 – 433.
- [Vygotsky, 1980] Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in society : The development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- [Wang and Trasbot, 2011] Wang, X. and Trasbot, J. (2011). Effects of target location, stature and hand grip type on in-vehicle reach discomfort. *Ergonomics*, 54(5) :466–476.
- [West, 2000] West, R. (2000). In defense of the frontal lobe hypothesis of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6(06) :727–729.
- [Wilde, 1982] Wilde, G. J. (1982). The theory of risk homeostasis : implications for safety and health. *Risk analysis*, 2(4) :209–225.

- [Wood et al., 2013] Wood, J. M., Lacherez, P. F., and Anstey, K. J. (2013). Not all older adults have insight into their driving abilities : evidence from an on-road assessment and implications for policy. *The Journals of Gerontology Series A : Biological Sciences and Medical Sciences*, 68(5) :559–566.
- [Woods, 1988] Woods, D. D. (1988). Coping with complexity : the psychology of human behaviour in complex systems. In *Tasks, errors, and mental models*, pages 128–148. Taylor & Francis, Inc.
- [Wu, 2011] Wu, J. (2011). *Utilisation de la conduite coopérative pour la régulation de trafic dans une intersection*. PhD thesis, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
- [Ylikoski et al., 1999] Ylikoski, R., Ylikoski, A., Keskiivaara, P., Tilvis, R., Sulkava, R., and Erkinjuntti, T. (1999). Heterogeneity of cognitive profiles in aging : successful aging, normal aging, and individuals at risks for cognitive decline. *European Journal of Neurology*, 6(6) :645–652.
- [Zintchenko, 1966] Zintchenko, P. (1966). Quelques problèmes de psychologie de la mémoire. *Recherches Psychologiques en URSS. Moscow : Editions du Progrès*.

Annexes A - Détails concernant les bases de données cartographiques

Parmi les technologies pertinentes pour la connaissance du contexte de conduite, les solutions de géolocalisation comme le Global Positioning System sont très intéressantes. Cette technologie permet de déterminer avec une précision relativement bonne, la position d'un récepteur GPS (une antenne) à partir d'une constellation de satellites. Les satellites évoluant en orbite autour de la terre émettent en permanence des ondes radio captées par l'antenne GPS. Dès lors que l'antenne reçoit les informations de trois satellites, cela lui suffit pour déterminer sa position à la surface du globe, c'est-à-dire la latitude et la longitude auxquelles elle se trouve. Cette position peut être tracée sur un fond de carte permettant de savoir où se trouve le véhicule. Cette information est utile pour connaître le chemin emprunté par un véhicule si on effectue un tracé des positions successives enregistrées entre le début et la fin d'un déplacement. On peut également identifier la position à un instant donné du véhicule. Mais le gain en information peut être nettement supérieur si l'on dispose d'une base de données cartographiques.

Ces bases de données sont constituées d'un ensemble de *nœuds* reliés entre eux par des *arcs*. La position des nœuds est connue car mesurée de manière plus ou moins précise lors du relevé cartographique. Plus la densité de *nœuds* est importante, plus la base de données sera précise. Au delà de la position de ces *nœuds*, un ensemble d'attributs qui leur sont rattachés sont stockés dans la base de données. La logique consiste alors à mettre en correspondance la position globale mesurée par l'antenne avec le point le plus proche de la base de données cartographiques en appliquant une projection, c'est le *map-matching*. Cela permet d'identifier, pour la position mesurée, la valeur des attributs correspondants. Les cartes actuelles disposent d'attributs intéressants pour la contextualisation de la conduite automobile à l'endroit considéré (ex. vitesse maximale autorisée sur le tronçon, type de route, sens de circulation). Les systèmes d'aide à la navigation exploitent cette logique, en intégrant un algorithme de *routage* qui calcule un trajet d'un point A à un point B et transmet les informations de guidage au conducteur.

Mais un des verrous concerne l'accès à ces bases de données géographiques, qui sont souvent des produits commercialisés par de grands fabricants (ex. Navtec, Téléatlas) encodés dans des formats propriétaires, ce qui leur confère une flexibilité limitée. Elles incluent de plus en plus de points d'intérêts tels que les lieux touristiques, les stations-services, etc. Il est en revanche impossible d'enrichir une base de données cartographiques intégrée à un système de navigation avec des informations supplémentaires (ex. règle de priorité dans une infrastructure complexe). Néanmoins, il existe de nombreuses initiatives de la communauté scientifique visant à concevoir de nouvelles bases de données possédant des attributs plus orientés vers l'utilisation dans des systèmes d'aides à la conduite (dont une synthèse est proposée dans [Ammoun et al., 2010]). Nous souhaiterions également citer le projet open-source *OpenStreetMap*³, initié en 2004 et qui vise à constituer une base de données cartographiques mondiale où chacun peut contribuer et/ou utiliser.

³<http://openstreetmap.fr/>

Annexe B - Structuration et synchronisation des données de conduite

Au vu de l'hétérogénéité des données enregistrées et des synergies de collaboration avec les partenaires du projet SAFEMOVE, nous avons contribué à deux phases d'importance que nous présentons ici. Cela concerne la définition et la mise en place d'un format d'échange de données ainsi qu'une procédure de resynchronisation des données pour leur exploitation.

Mise en place d'un format d'échange de données

Dans le cadre du partenariat avec Continental, nous avons mis en place un format d'échange de données qui devait permettre aux différents acteurs de pouvoir utiliser les données collectées à l'aide du véhicule instrumenté, tout en conservant la possibilité d'utiliser les outils de chacun (ex. le framework BIND nous concernant). Pour cela, nous avons proposé une structure auto-descriptive qui assure une bonne traçabilité des échanges. L'enjeu est de rassembler, dans un fichier de données qui ne soit pas trop volumineux, les données enregistrées à partir des différentes sources disponibles dans le véhicule, en assurant une synchronisation la plus parfaite possible. Nous avons ainsi proposé le formalisme des structures disponible dans le logiciel Matlab, outil commun aux deux équipes partenaires. A partir de ce formalisme, nous avons retenu une architecture à 4 niveaux (figure 154).

niveau1	niveau2	niveau3	niveau4	description
source	META	toutes les informations permettant la traçabilité du jeu de données		
conti	VariableGroup	time	le temps propre à la source	
mopad		variable1	la liste des variables propres a la source	
kvaser		...		
		...		
		variableN		
		time_sync	le temps synchronisé	
			values	liste des valeurs de la variable
			unit	unité de la variable
			comments	commentaires éventuels

FIGURE 154 – Architecture de la structure Matlab

Comme cela a été indiqué, les données enregistrées sur le bus-CAN sont codées. Grâce au soutien de PSA Peugeot Citroen, nous avons eu accès à un fichier de base de données permettant le décodage des trames CAN. A ce niveau, des échanges avec Continental ont permis de personnaliser ce fichier de base de données afin de rendre les noms des groupes de variables et les variables associées plus explicites pour les analyses futures.

Comme le présente la figure 154, le *niveau 1* concerne la *source*. Elle correspond à la distinction entre les données qui proviennent du bus-CAN du véhicule (source=kvaser, du nom du boîtier utilisé pour la collecte), et les autres données produites par les capteurs additionnels présents dans le véhicule qui sont enregistrées via un logiciel développé en interne (source=mopad, du nom du logiciel). La *source conti* correspond quant à elle aux paramètres issus du traitement des données brutes collectées par le biais de la technologie de perception de l'environnement. Cette étape est prise en charge par Continental dans le cadre du projet SAFEMOVE. Dans le cadre des analyses qui seront réalisées par nos soins, il sera simple d'ajouter une nouvelle source (ex.

source=sig pour toutes les informations en provenance d'une base de données cartographiques maison).

Au niveau 2, on trouve toutes les méta-informations décrivant le jeu de données de la source considérée. On y trouve par exemple le nom du participant, la date et l'heure de la collecte, la valeur d'offset appliquée à la *source* lors de la phase de synchronisation. Là encore, on peut imaginer ajouter autant d'informations que nécessaire pour garantir une bonne traçabilité comme, par exemple, la version courante de calcul d'un paramètre à partir des données brutes. Au-delà de ces méta-données, on trouve l'ensemble des groupes de variables disponibles pour la *source*. Au niveau 3, nous sommes au sein d'un groupe de variables qui comprend un nombre variable de paramètres. Enfin, au niveau 4, on trouve le vecteur contenant tous les enregistrements du paramètre, ainsi que l'unité et des commentaires éventuels concernant ce paramètre.

La figure 155 donne un exemple de l'arborescence du paramètre *angle_volant* (niveau 4) qui provient du groupe de variables *VOL* (niveau 3), qui est un des 17 groupes de variables (niveau 2) de la *source kvaser* (niveau 1). Ainsi, pour accéder aux valeurs d'angle volant, il suffit d'utiliser le principe d'accès aux niveaux d'une structure par l'utilisation du « . » : *valeursAngleVolant = safemove.kvaser.VOL.ANGLE_VOLANT.values*.

Field	Value
mopad	1x1 struct
kvaser	1x1 struct
conti	1x1 struct

Field	Value
VROUES	1x1 struct
VOL	1x1 struct
SLA	1x1 struct
LDW3	1x1 struct
LDW2	1x1 struct
LDW1	1x1 struct
CMM4	1x1 struct
CMM3	1x1 struct
CMM2	1x1 struct
CLIM	1x1 struct
BSI	1x1 struct
ARSst	1x1 struct
ARS2	1x1 struct
ARS1	1x1 struct
ACCEL	1x1 struct
ABR	1x1 struct
META	1x1 struct

Field	Value
time	1x1 struct
ANGLE_VOLANT	1x1 struct
VITESSE_ROT_VOL	1x1 struct
time_sync	1x1 struct

Field	Value
values	341445x1 double
unit	'Degré'
comments	''

FIGURE 155 – Exemple d'arborescence dans la structure pour le paramètre angle volant

Synchronisation des données

Pour les différentes sources de données que nous enregistrons par différents moyens (boitier kvaser, logiciel mopad, enregistreur vidéo), nous disposons de référentiels de temps différents. La première étape en vue de l'analyse des données concerne donc la re-synchronisation de ces différentes références de temps sur une base de temps unique. Comme on le voit figure 155, le niveau 3 comprend en plus des paramètres enregistrés pour un groupe de variables, deux vecteurs de temps, *time* et *time_sync*. Le paramètre *time* correspond au temps original pour la *source* considérée. L'objectif de la procédure que nous avons mise en place consiste à calculer le paramètre *time_sync*, qui correspond au temps original de la *source*, auquel nous avons appliqué un offset (qui est par ailleurs consigné comme un paramètre de la branche META).

Pour mener à bien cet objectif, nous devons donc faire correspondre temporellement l'occurrence d'un évènement dont la survenue est enregistrable par les différentes sources. Nous utilisons pour cela le principe du clap utilisé dans le cinéma. Historiquement au LESCOT, ce clap était effectué par appui sur un boitier pilotant une diode. Nous avons participé à l'ajout d'une nouvelle

technique utilisant la pédale de frein pour piloter cette diode. A l'aide d'un interrupteur, nous couplons l'appui sur la pédale avec l'allumage d'une diode visible sur une des vues vidéos. Nous réalisons alors trois appuis consécutifs sur la pédale de frein en début et fin d'expérimentation. Ces claps de début et fin génèrent plusieurs traces datées : l'allumage de la diode sur la vidéo, à un *timecode vidéo* donné par le magnétoscope analogique (au format hh : mm : ss : numero d'image) ; l'enregistrement du signal envoyé à la diode par appui sur la pédale de frein, effectué par le logiciel mopad à un *timestamp 1* donné (temps pc écoulé depuis le lancement du logiciel, exprimé en secondes écoulées depuis le 1er janvier 2000) ; et l'enregistrement d'un contact au niveau du contacteur des feux stop qui transite sur le bus-CAN et qui est enregistré par le boîtier Kvaser à un *timestamp 2* (correspondant à la date et l'heure exprimée en secondes écoulées depuis le 1er janvier 1970). La figure 156 donne une vue d'ensemble du dispositif de clap vidéo et données.

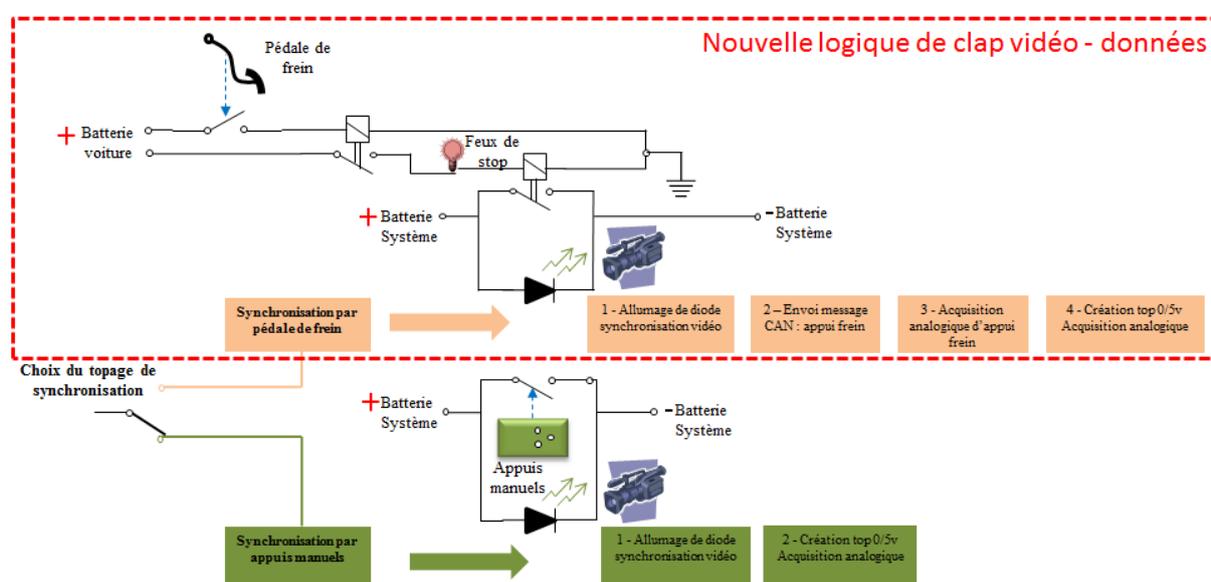


FIGURE 156 – Schéma de la méthode de synchronisation via la pédale de frein

Nous avons choisi une logique de synchronisation en deux temps : la vidéo et les données mopad, puis les données mopad synchronisées sur la vidéo et les données kvaser. La première étape du traitement consiste à identifier manuellement le *timecode vidéo* de premier allumage de la série de 3 appuis en début d'expérimentation, et le premier allumage de la série de 3 appuis en fin d'expérimentation. Ces deux repères sont exprimés dans le temps de la vidéo numérique (en déduisant le timecode de la première image capturée par l'enregistreur numérique). La durée totale de l'enregistrement est alors connu pour la source vidéo. Ensuite, nous calculons automatiquement cette même durée dans la source mopad, à l'aide d'une procédure informatique. Les durées d'enregistrement vidéo et mopad sont alors comparées. Si la différence est inférieure à 80 ms (soit 2 images de décalage), nous supposons la dérive nulle, et un simple offset est appliqué. Si la différence est supérieur ou égale à 80 ms, nous calculons le ratio entre ces deux durées afin de faire correspondre la longueur de l'enregistrement mopad à celui de la vidéo (qui constitue la référence), avant d'appliquer la même logique de décalage par un offset. Nous obtenons ainsi *time_sync* pour la source mopad.

Ensuite, il suffit d'appliquer une logique identique entre l'apparition des tops au niveau de mopad (dans le référentiel *time_sync*) et au niveau de l'enregistreur *kvaser*. A ce niveau, la différence de durée d'enregistrement est considérée sans dérive en dessous de 40 ms. Nous appliquons alors la même logique de recalage en calculant *time_sync* pour la source *kvaser*. Les résultats que nous obtenons sont très satisfaisants, comme nous le voyons sur la figure 157.

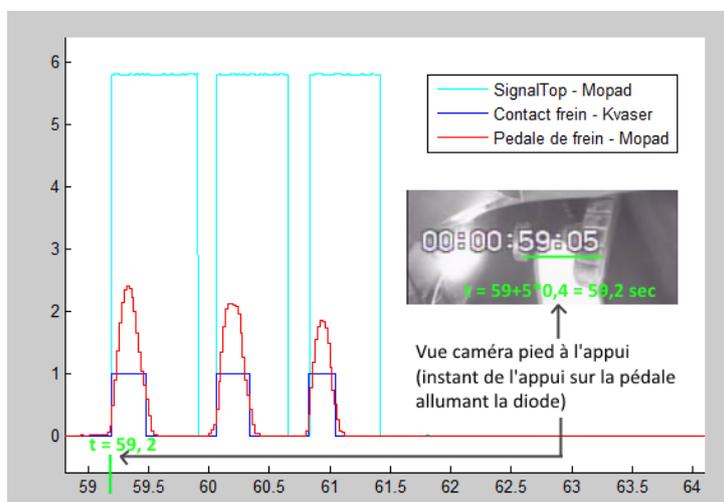
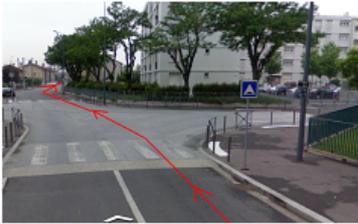
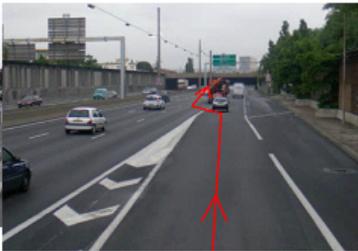
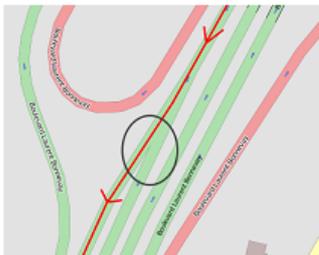


FIGURE 157 – Résultat de la synchronisation vidéo - mopad - données CAN (kvaser)

Annexe C - Fiche monitorice (extrait)

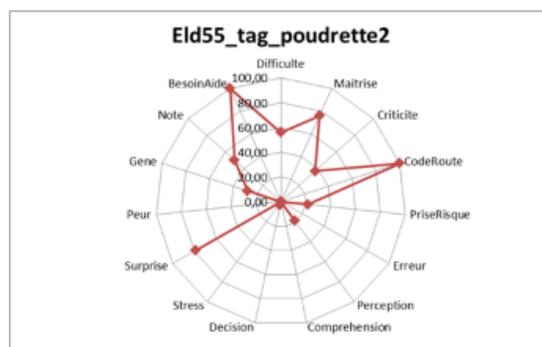
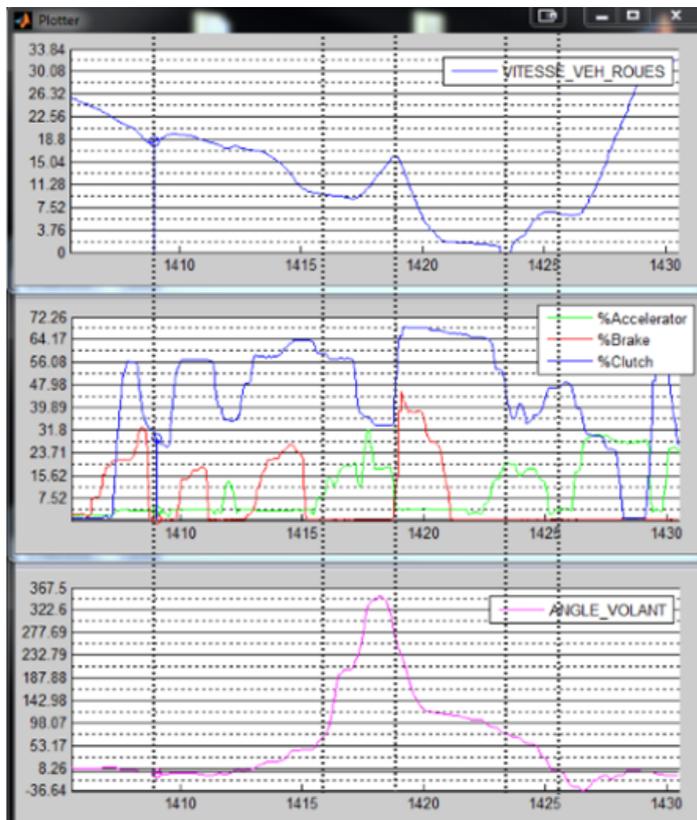
<p>3_RondPoint</p> 		
<p>5_TaG guillermin</p> 		
<p>9_PrioriteDroite</p> 		
<p>11_Insertion périphérique</p> 		
<p>14_ChangementVoie</p> 		

Annotations libres et note locales

Annexe D - Feuille de route monitrice (extrait)

Points de repère sur le Parcours	Consigne verbale	Commentaires
(Sortie Site + rond-point sortie)	Pilotage jusqu'à barrière automatique puis « à gauche »	
Carrefour sortie site	« Au carrefour, tournez à Droite »	
Tronçon « Zac du chêne »	Aucune consigne (si question « tout droit »)	Zone 30
20 m. avant 1 ^{er} Feu	« Après le prochain feu, il faudra tourner à Gauche »	
Au 1 ^{er} feu (au 2 nd feu si 1 ^{er} vert)	« Après le (prochain) feu, tourner à Gauche »	
Au 3 ^{ème} feu	« Tout droit »	Feu rouge critique
Tronçon Ligne droite (500m)	Aucune consigne (si question « tout droit »)	Voie au choix
Question Vérification	Le siège et les rétroviseurs sont-ils bien réglés ?	Si « non », Arrêt possible à 200m après le feu
Carrefour à Feu	« Au carrefour, tournez à Droite »	
Tronçon Ligne droite /2 voies	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Arrivée Rond-Point	« Dans le rond point, suivre la direction BRON »	Dernière sortie (= > tour complet)
Avant dernière Sortie Rd point	« Ce sera la prochaine sortie »	
Tronçon Ligne droite /2 voies	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Sortie virage/changement voie	« Suivre la direction BRON – 7 chemins » Puis, seulement si difficulté (« ce sera à Gauche »)	Changement voie (cisaillement)
Arrivée au Feu	Aucune consigne (si question « tout droit »)	2 voies possibles (sans importance)
Tronçon Ligne droite /2 voies	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Arrivée Rond-Point 7 chemins	« Au rond point, suivre la direction PERIPHERIQUE »	2 ^{de} sortie
Tronçon Route Genas »	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Changement voie 150m avant TàG Guillermain	« A 100 mètres après le prochain feu, il faudra tourner à Gauche »	Si pas de changement de voie, alors répéter consigne avant le feu
Feu Guillermain	Aucune consigne (si question « tourner à gauche »)	
Intersection	« Au carrefour, tournez à Droite »	
Feu	« Au Feu, toumez à Gauche »	
Tronçon Route Genas	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Feu Genas (Poudrette 1)	« Au prochain Feu, il faudra tournez à Gauche »	Après feu intermédiaire
Tronçon urbain	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Intersection	« A l'intersection, Tourner à Droite »	20 m après 2 nd feu
Carrefour complexe	« Au carrefour, suivre la Direction Résidence Marius Ledoux »	
Si difficulté / question	« C'est en face / tout droit, puis à droite »	Pointer avec l'index
Tronçon urbain	Aucune consigne (si question « tout droit »)	Zone 50 puis 30 km/h
Feu Genas	« Au feu, tourner à Droite »	
Tronçon Route Genas	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Feu Genas (Poudrette 2)	« Au prochain Feu, il faudra tournez à Gauche »	Changement de voie
Tronçon 200m Ligne droite	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Intersection	« Au carrefour, tournez à Gauche »	
Intersection	« A l'intersection, tournez à Gauche »	
Intersection « TàG Obligatoire »	Aucune consigne (si question « à gauche »)	Risque piétons/vélos
Intersection	« Au carrefour, tournez à Gauche »	
Tronçon 400m Ligne droite	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Rond-Point	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Tronçon 200m Ligne droite	Aucune consigne (si question « tout droit »)	
Intersection (30m après 1 ^{er} carrefour)	« Au carrefour, tournez à Gauche »	Donner l'info au niveau carrefour précédent
Tronçon 800m Ligne droite	Aucune consigne (si question « tout droit »)	2 priorités à droite
Rond-Point	« Au rond point, allez tout droit »	
Patte d'oie urbaine	Aucune consigne (si question « à droite »)	

Annexe E - Cas de mauvaise compréhension de l'infrastructure et piéton en sortie du TàG



Vue 1 : La conductrice est arrivée au moment où le feu repassait au vert et s'avance dans l'intersection.

Vue 2 : Alors qu'un véhicule effectue un TàD en sens opposé, elle décide de s'engager simultanément (volant braqué et vitesse augmente).

Vue 3 : Alors qu'elle se trouve au milieu de la zone de conflit, le véhicule qui TàD s'arrête pour laisser passer un piéton. La monitrice avertit "attention le piéton" et freine en même temps que la conductrice.

Vue 4 : Pendant que le piéton fini sa traversée, la conductrice regarde si d'autres véhicules arrivent à contre sens, sur sa droite.

Vue 5 : La conductrice redémarre et dégage l'intersection. On voit à ce moment un véhicule qui arrivait à contresens qui a du se déporter sur la voie de gauche pour éviter notre conductrice.

Annexe F - Comparaisons statistiques des résultats des Focus Group

NAVIGATION (DIFFICULTES)

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
N1	Difficultés pour suivre votre itinéraire, seul et sans aide, sur un itinéraire familier ?	3,3	7,9	5,3	9,7	1,3	5,2	NS
N2	Difficultés pour suivre votre itinéraire, seul et sans aide, sur un itinéraire non familier ?	34	27,8	30	27,3	38	28,8	NS
N3	Difficultés pour trouver les informations de directions, seul et sans aide, pour lire les panneaux ?	22,5	17	24,3	16,5	20,7	17,9	NS
N4	Difficultés pour trouver les informations de directions, seul et sans aide, pour trouver les panneaux ?	33,4	21	32,5	24,7	34,3	17,4	NS

NAVIGATION (AIDE)

N5	Possédez-vous un système d'aide à la navigation ?	70%	-	90%	-	50%	-	0,048
N5B	A quelle fréquence utilis(eriez)-vous un système de navigation ?	40,3	31,5	42,6	35,8	35,7	22,3	NS
N6	Un système de navigation est/serait-il utile pour vous ?	65,3	29,6	69,7	27,9	61	31,5	NS
N7	Un système de navigation devrait-il être obligatoire dans toutes les voitures ?	73,7	32,9	68,3	40,9	79	22,5	NS
N8	Erreurs de navigation, vous arrive-t-il de vous tromper de routes ?	33,3	23,5	29	24,7	37,7	22,3	NS
N9	Erreurs de navigation, vous arrive-t-il de faire plusieurs tours d'un Rond-Point ?	21,5	21,7	20,5	25,4	22,5	18,0	NS
N10	Erreurs de navigation, vous arrêter/telephoner/demander chemin après vous être perdu ?	20,2	18	17	16,3	23,4	19,6	NS
N12	Futur système de navigation, Intérêt Vision Tête Haute ?	72,2	26,1	73	26,8	71,3	26,2	NS
N13	Futur système de navigation, Intérêt Réalité Augmentée ?	74,8	24,4	72	29,1	77,7	19,4	NS
N14	Navigation, Confiance dans le GPS ?	69,8	23,9	78,7	19	61	25,6	0,041
N15	Navigation, Confiance en vous-même ?	72,9	21,9	80,5	17,7	65,3	23,6	0,049

VITESSE (DIFFICULTES)

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
V1	En général, essayez-vous de respecter les limitations de vitesse ?	87,1	13,9	90	13	84,3	14,7	NS
V2	Transgressions délibérées ?	17,8	25	16	25,5	19,5	25,3	NS
V3	Transgressions involontaires ?	48,7	33,9	43	33,7	54,5	34,3	NS
V4	Vous arrive-t-il d'avoir des doutes sur la vitesse maximale autorisée sur un tronçon ?	42,1	26,7	35	26,7	49,1	25,7	NS
V5	Vous arrive-t-il d'avoir des difficultés pour contrôler la vitesse (vérifier et/ou maintenir) de votre véhicule ?	31,5	26,1	33,4	30,6	29,7	21,6	NS
V6	Difficultés pour respecter le 50 km/h en Ville ?	27,5	29,8	38	32,7	17,1	23,2	0,049
V7	Difficultés pour respecter les zones 30 km/h ?	39,5	31,1	43,3	33,7	35,7	28,9	NS
V8	Difficultés pour respecter le 90 km/h sur Routes de Campagne ?	17,1	17,4	19,3	15,9	14,9	19	NS
V9	Difficultés pour respecter le 90 km/h sur le Périphérique ?	14,2	15,6	15,7	15,5	12,8	16,1	NS
V9bis	Difficultés pour atteindre le 90 km/h sur le Périphérique ?	18,6	28,3	10,7	18,8	27,1	34,5	NS
V10	Difficultés pour respecter le 130 km/h sur Autoroute ?	10,7	21,5	9,9	23,9	11,5	19,5	NS
V10bis	Votre vitesse sur Autoroute ?							NS
V11	Difficultés pour adapter votre Vitesse lorsque les limitations fluctuent Hors agglomération (90-70-90) ?	33,8	23,2	29,2	23,6	38,3	22,7	NS
V12	Difficultés pour adapter votre Vitesse lorsque les limitations fluctuent Sur voies rapides/autoroutes (130-110-90) ?	31,7	21,6	30	21,4	33,4	22,5	NS

VITESSE (AIDE)

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Sig. T Student H/F
V13	Informateur : possession ?	45%	-	70%	-	20%	-	0,028
V13B	Informateur : fréquence utilisation (effective ou escomptée) ?	56,4	45,3	64	44,5	37,5	47,9	NS
V14	Informateur : est/serait-ce utile ?	79	29,1	83,3	29,4	74,7	29,2	NS
V15	Informateur : obligation dans toutes les voitures ?	77,3	28,5	78,7	26,1	76	31,6	NS
V16	Avertisseur : possession ?	45%	-	70%	-	20%	-	0,028
V16B	Avertisseur : fréquence utilisation (effective ou escomptée) ?	65	40,6	59,5	43,2	83,3	28,9	NS
V17	Avertisseur : est/serait-ce utile ?	74,7	29,8	75,7	35,4	73,7	24,1	NS
V18	Avertisseur : obligation dans toutes les voitures ?	73,2	26,5	73,7	26,4	72,7	27,6	NS
V19	Limiteur : possession ?	35%	-	60%	-	10%	-	0,029
V19B	Limiteur : fréquence utilisation (effective ou escomptée) ?	31,8	35,4	34,4	37,7	20	28,3	NS
V20	Limiteur : est/serait-ce utile ?	59,3	36,4	59,3	41,1	59,3	32,4	NS
V21	Limiteur : obligation dans toutes les voitures ?	51,2	36	55	39,1	47,3	33,5	NS
V22	Régulateur Simple : possession ?	45%	-	70%	-	20%	-	0,011
V22B	Régulateur Simple : fréquence utilisation (effective ou escomptée) ?	50	35,5	52,7	35,8	40	40	NS
V23	Regulateur Simple : est/serait-ce utile ?	55,4	34,5	63,6	39,7	47,1	27,3	NS
V24	Regulateur Simple : obligation dans toutes les voitures ?	47,5	34,2	47,7	37,7	47,3	31,5	NS
V25	Régulateur Adaptatif : possession ?	0%	0	0	0	0	0	NS
V25B	Regulateur Adaptatif : fréquence utilisation ?							NS
V26	Regulateur Adaptatif : est/serait-ce utile ?	54,5	34,3	51	36,2	58	33,2	NS
V27	Regulateur Adaptatif : obligation dans toutes les voitures ?	42,5	34,2	42,3	33,9	42,7	35,8	NS
V28	Nombre de points perdus en lien avec la Vitesse ?							
V29	Le respect des limitations de vitesse vous préoccupe-t-elle lorsque vous conduisez ?	75,5	23,2	68,3	28,8	82,7	13,3	NS

INTERSECTIONS (DIFFICULTES)

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
I1	Difficultés pour franchir une intersection, lorsque vous êtes prioritaires?	14,2	15,9	10,7	13,2	17,8	17,9	NS
I2	Difficultés pour franchir une intersection, lorsque vous êtes non prioritaires?	19,9	19,6	9,3	8,2	30,5	22,1	0,003
I3	Difficultés pour franchir une intersection, identifier les règles de priorité?	24,9	23,3	17,3	25,1	32,5	19,3	0,011
I4	Difficultés pour franchir une intersection, réaliser la manoeuvre?	15,1	16,8	5,7	7	24,5	18,6	0,000
I5	Intersections non prioritaires (tag), Percevoir les autres?	18,2	17,2	9,5	8	26,8	19,8	0,003
I6	Intersections non prioritaires (tag), Estimer la vitesse des autres?	24,7	24,9	15,3	20,8	34,1	25,7	0,008
I7	Intersections non prioritaires (tag), Estimer la distance des autres?	22,1	22,4	12,7	13,1	31,5	26,0	0,019
I8	Vous arrive-t-il de passer au feu orange?	20,0	15,6	16,9	14,7	23,2	16,3	NS
I9	Passage orange, délibéré?	22,9	32,7	25,3	36,4	20,5	29,6	NS
I10	Franchir un stop sans vous arrêter totalement?	9,1	17,1	13,6	22,6	4,7	7,4	NS
I11	Stop "glissé", délibéré ?	29,5	44,9	34,3	48,1	24,7	42,5	NS

INTERSECTIONS (AIDE)

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
I12	Aide Perception : utilité ?	52,7	31,4	45,7	33,3	59,7	28,8	NS
I13	Aide Estimation Créneau : utilité ?	48,8	31,9	46,3	38,6	51,3	24,7	NS
I14	Aide Détection des Risques : utilité ?	64,3	31,3	69,3	33,1	59,3	29,6	NS
I15	Intersections non prioritaires (tag), Evitement ou Contournement?							

INSERTIONS (DIFFICULTES)

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
C1	Insertions périphérique /autoroute, difficultés ?	24,8	25,2	14,5	14,5	35	29,6	NS
C2	Appréhension insertion si trafic dense ?	29,6	29	21,9	26,3	37,3	30,3	NS
C3	Insertions périphérique /autoroute, Percevoir les autres ?	25,6	24,2	20,9	25,7	30,3	22,4	NS
C4	Insertions périphérique /autoroute, Estimer la vitesse des autres ?	25,5	24,8	14,7	12,3	36,3	29,4	0,013
C5	Insertions périphérique /autoroute, Estimer la distance des autres ?	22,0	21,3	11,4	7,1	32,7	25,4	0,011
C5bis	Insertions périphérique /autoroute, Longueur optimale de voie ?							

INSERTIONS (AIDE)

Items	Intitulés	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
C6	Insertions périphérique/autoroute : Aide Perception ?	63,8	27,9	58	33,7	69,7	20,2	NS
C7	Insertions périphérique /autoroute : Aide Décision ?	59,8	29,2	51,3	32,2	68,3	24,0	NS
C8	Insertions périphérique /autoroute : Aide Insertion Automatique ?	38,4	35,4	32,9	36,3	44	34,8	NS

CHANGEMENT VOIE (DIFFICULTES)

Items	Intitulés	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
C9	Difficultés Changements Voie, périphérique/autoroute ?	26,5	27,2	11,7	12,7	41,3	30,0	0,002
C10	Difficultés Changements Voie, en agglomération ?	20,6	21,7	13	15,5	28,1	24,7	NS

CHANGEMENT VOIE (AIDE)

Items	Intitulés	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
C11	Changements de Voie : Aide Perception ?	68,3	31,7	53	36,7	83,7	14,9	0,015
C12	Changements de Voie : Aide Décision ?	58,5	32,9	46,7	37,6	70,3	23	0,047
C13	Changements de Voie : Aide CV Automatique ?	38	36,0	37,3	36,6	38,7	36,6	NS

AUTOMATISATION

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
A0	Sur le principe, accepteriez-vous de confier (partiellement ou totalement) la responsabilité de la conduite à une machine ?	62	31,3	70	29	54	32,5	NS
A1	Boite Vitesse Automatique, utilité ?	62,1	31,8	62,1	29,4	62	34,8	NS
A2	Boite Vitesse Automatique, possession ?	4/30	-	4/15	-	0	-	NS
A2B	Boite Vitesse Automatique, Fréquence utilisation ?	78,8	36,1	78,8	36,1	0		NS
A3	Boite Vitesse Automatique, Souhait ?	49	40,2	52,1	42,5	46	39,2	NS
A4	Parking Automatique, Utilité ?	65	36,7	64,3	39,8	65,7	34,7	NS
A5	Parking Automatique, Fréquence utilisation ?	63,4	35,7	55,4	37	71,3	33,8	NS
A6	Parking Automatique, Souhait ?	60,3	41,4	59,3	42,9	61,3	41,4	NS
A7	Maintien Voie Automatique, Utilité ?	44,2	35	39	36,6	49,3	33,9	NS
A8	Maintien Voie Automatique, Fréquence utilisation ?	37,4	36,3	29	35,8	45,8	36	NS
A9	Maintien Voie Automatique, Souhait ?	39,2	38	29	38,3	49,3	36,1	NS
A10	Conduite Automatique, Utilité ?	54	38,1	58,7	35,6	49,3	41,1	NS
A11	Conduite Automatique, Accepter de monter ?	50,2	42,4	55	41,9	45,3	43,9	NS
A12	Conduite Automatique, Souhait ?	38,7	36,7	43	34,3	34,3	39,6	NS

RAPPORT AUX AUTRES (DIFFICULTES)

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
R1	Difficultés avec les Motocyclistes ?	42,3	29,5	26,3	24,7	58,3	25,3	0,006
R2	Difficultés avec les Vélos ?	48,4	33,1	45,7	32,1	51,1	34,9	NS
R3	Difficultés avec les Piétons ?	29,9	23,9	27,1	22,6	32,5	25,7	NS
R4	Difficultés avec les Camions?	35,4	26,4	21,3	20,5	49,3	24,6	0,004
R5	Difficultés avec les Bus ?	20,2	23,4	8,7	6,3	31,7	28,5	0,033
R6	Difficultés avec les Autres Conducteurs Voitures ?	26,9	22,1	23	26,2	31,1	16,7	NS

INCIVILITES d'AUTRUI

Items	Intitules	Moy tous les sujets	SD	Moy Ho	SD Ho	Moy Fe	SD Fe	Significativité T Student H/F
R8	Vous arrive-t-il de vous faire klaxonner ?	13,2	13,1	12,4	15,7	14	10,4	NS
R9	Vous arrive-t-il de vous faire coller de trop près ?	29,8	24,1	22,1	20,6	36,9	25,5	NS
R10	Vous arrive-t-il de recevoir des appels de phares ?	8,5	9,8	10,5	12,4	6,4	6	NS
R11	Vous arrive-t-il de vous faire faire une queue de poisson ?	11,3	14,5	9,8	12,2	12,9	16,8	NS
R12	Vous arrive-t-il de vous faire dépasser de façon agressive ?	15,5	21,7	8,7	13	22,3	26,6	NS
R13	Vous arrive-t-il de recevoir une manifestation d'humeur d'autrui ?	8,5	9,9	6,8	8,4	10,1	11,2	NS

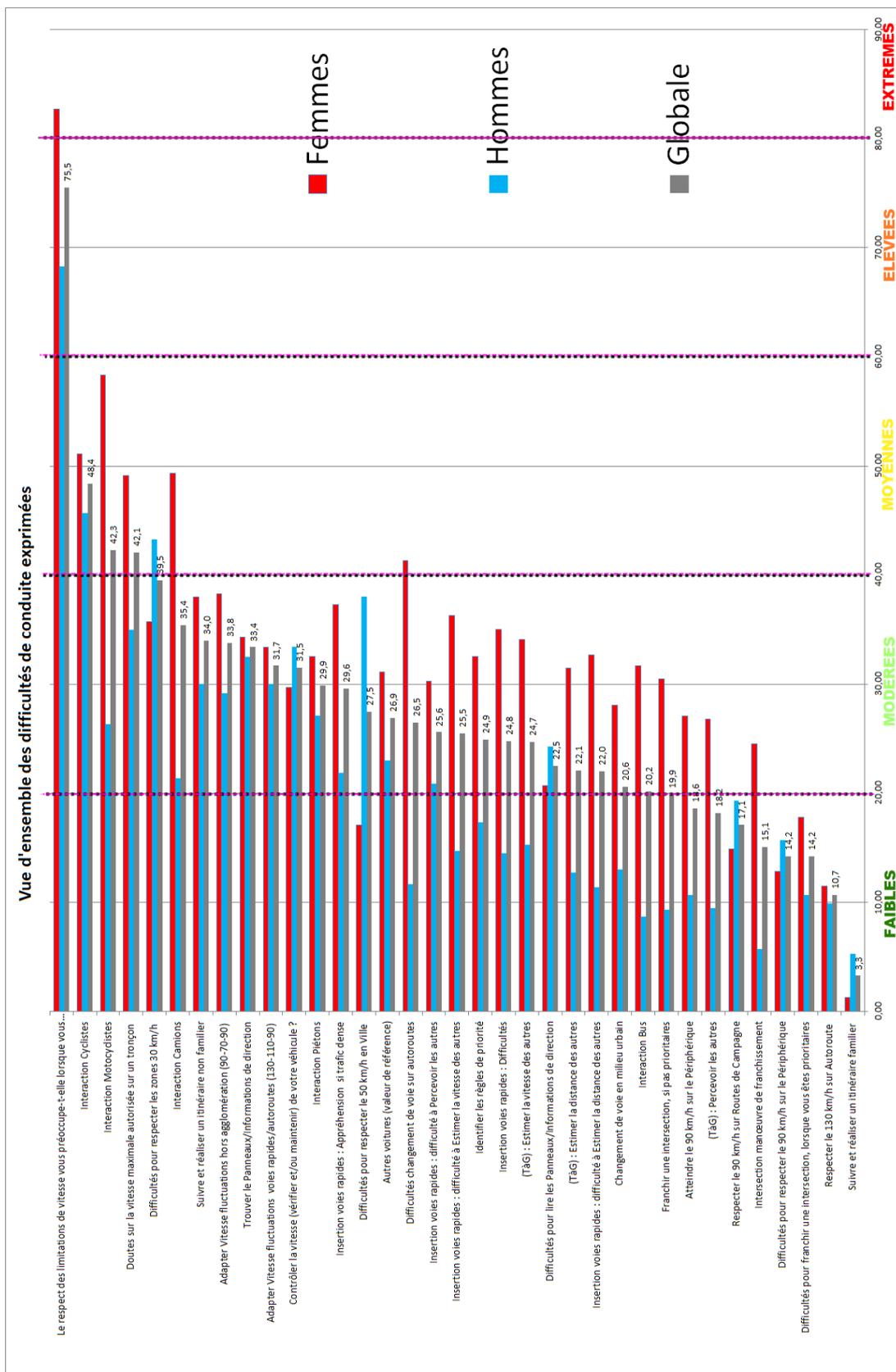
CONTEXTE des INCIVILITES

R14	Contexte de ses événements : cause vitesse trop lente ?	32,4	29,8	23,1	29	41,7	28,5	NS
R15	Contexte de ses événements : lors d'un changement de voie ?	9,8	14,5	5,9	8,7	13,8	18,1	NS
R16	Contexte de ses événements : lors du franchissement d'un Rond-Point ?	5,4	10,4	2,2	3,6	8,5	13,5	NS
R17	Contexte de ses événements : lorsque vous attendez à une intersection ?	12,9	11,9	11,1	10,9	14,6	12,9	NS
R18	Contexte de ses événements : lorsque vous vous engagez à une intersection ?	7,4	9,9	3,1	5,2	11,3	11,7	0,024
R19	Contexte de ses événements : lors du franchissement d'un tourne à gauche ?	6,9	10,7	2,3	3	11,3	13,4	0,022
R20	Contexte de ses événements : lors d'une insertion sur périphérique/autoroute ?	10,9	18,5	1	3,5	18,3	23,4	0,022

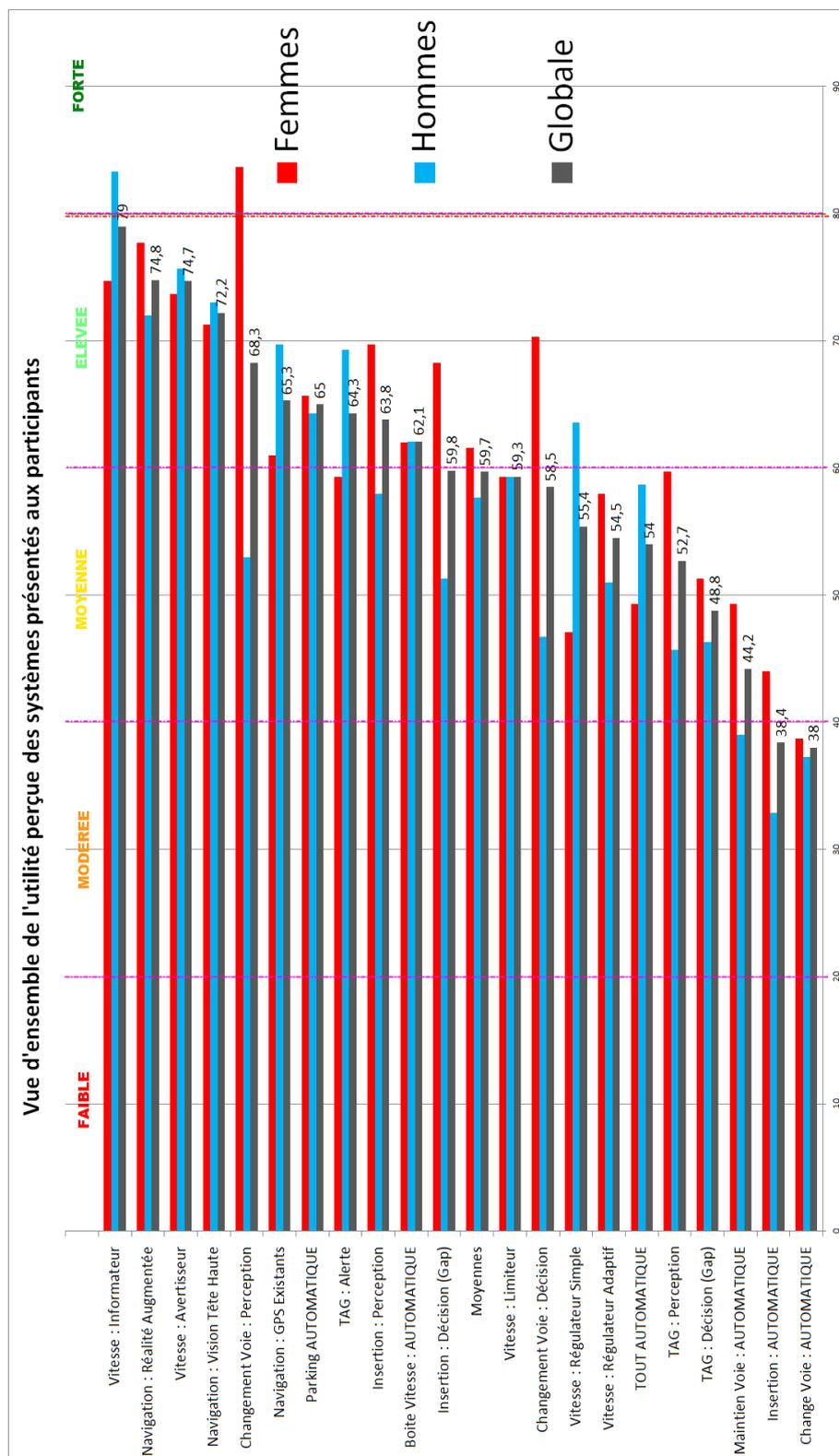
Annexe G - Fiche de réponses Focus Group (extrait des items « Vitesse »)

PARTIE 2 : LA VITESSE (1/4)		
Q1	Respect des limitations	%
Q2	Transgressions délibérées	%
Q3	Transgressions involontaires	%
Q4	Doutes Limitations	%
Q5	Difficultés pour contrôler	%
Q6	Difficultés Ville 50 km/h	%
Q7	Zone 30 km/h	%
Q8	Nationales Camp. 90km/h	%
Q9	Périphérique. 90km/h	%
Q9bis	Difficultés à atteindre. 90km/h	%
Q10	Voies Rapides 130km/h	%
Q10bis	Votre vitesse sur autoroute	

Annexe H - Graphique bilan en termes de difficultés exprimées



Annexe I - Graphique bilan en termes d'utilité perçue



Annexe J - Travaux du LESCOT dans le projet PARTAGE (extrait rapport final du projet [Hoc et al., 2012], pp 17-23)

Titre : Modélisation de l'activité de conduite observée sur route ouverte pour l'analyse des comportements et la gestion contextuelle des sorties de voie.

Objectifs de la recherche

Cette action de recherche, réalisée par l'IFSTTAR-LESCOT, visait à analyser les situations de sortie de voie sur route ouverte alors que les conducteurs ne bénéficient d'aucune assistance. Elle a reposé sur la mise en place d'une expérimentation au cours de laquelle 10 conducteurs ont été invités à réaliser un parcours au volant d'un véhicule instrumenté équipé de capteurs permettant d'enregistrer l'activité des conducteurs et d'appréhender le contexte de conduite. Au regard des objectifs généraux du projet PARTAGE, les enjeux de cette expérimentation se situaient à trois niveaux principaux.

A un premier niveau, il s'agissait de mieux connaître les situations de sorties de voies auxquels les dispositifs d'assistance PARTAGE cherchent à apporter une aide palliative : Où se produisent-elles ? A quelle fréquence les observent-on, dans quelles conditions de trafic, ou sur quels types de tronçons routiers ? A cet égard, les données collectées au cours de cette expérimentation devaient permettre d'enrichir les travaux du consortium PARTAGE concernant les « situations d'usage » des dispositifs d'assistance pour la prévention des sorties de voie.

Sur un autre plan, il s'agissait aussi de savoir comment les conducteurs jugeaient eux-mêmes ces manœuvres de sorties de voie qu'ils avaient mises en œuvre. Sont-elles réalisées de façon volontaire ou non ? Leur semblent-elles légitimes (justifiées par les circonstances de conduite, par exemple) ? Sont-elles jugées comme dangereuses et quel niveau de risque ou de prise de risque ont-elles représenté à leurs yeux ? Pensent-ils avoir commis une erreur et qu'ont-ils ressentis lors de l'exécution de cette manœuvre, en terme de peur ou de surprise face à la situation ? Le recueil de tels jugements d'autoévaluation était important du point de vue ergonomique, car ils devaient permettre d'identifier les besoins effectifs des conducteurs et de spécifier, en conséquence, des dispositifs d'assistance utiles et bien acceptés par ces derniers.

Enfin, l'enjeu de cette expérimentation était de recueillir un jeu de données écologiques pour le développement de modèles d'analyse de l'activité « en situation » permettant d'apprécier en temps réel la performance du conducteur et de spécifier, le cas échéant, les besoins en assistance requis pour prévenir au mieux les sorties de voie, en fonction du contexte de conduite. Cette mise en regard du contexte situationnel et de l'activité réelle des conducteurs est un élément-clé pour déterminer si l'intervention d'un dispositif d'assistance est ou non nécessaire et adapter, le cas échéant, les modalités d'Interaction Homme-Machine aux conditions de conduite du moment. D'un côté, il s'agit d'identifier certaines manœuvres potentiellement « à risque », justifiant pleinement l'intervention d'une assistance. Mais d'un autre côté, il s'agit aussi d'identifier des stratégies de sorties de voie rendues nécessaires par les circonstances de conduite et pour lesquelles une assistance pourrait potentiellement altérer la performance humaine. Considérée sous cet angle d'Ingénierie Cognitive, cette recherche visait, d'une part, à apporter un regard critique (associé à un jeu de données « naturelles ») sur les critères décisionnels susceptibles d'être utilisés pour déclencher l'intervention d'un dispositif anti-sortie de voie (telle position du véhicule sur la chaussée, selon telle trajectoire, ou telle vitesse, par exemple) et, d'autre part, à identifier des

indicateurs comportementaux et situationnels susceptibles de venir enrichir ces critères décisionnels afin de favoriser l'intervention d'une assistance lorsque celle-ci est nécessaire ou, à l'inverse, d'en limiter les effets dans le cadre de situations imposant une sortie de voie du véhicule pour garantir la sécurité de la conduite.

Méthodologie

La méthodologie déployée pour la collecte de données écologiques et l'analyse des sorties de voie en conditions réelles de conduite a nécessité la mise en place d'une expérimentation sur route ouverte au cours de laquelle 10 conducteurs (âgés de 25 à 35 ans ; moyenne d'âge de 29,1 ans) expérimentés (plus de 5 ans de permis et pratique régulière de la conduite supérieure à 10.000 kilomètres par an) ont été invités à réaliser un parcours expérimental de 155 kilomètres (3 heures de conduite en moyenne). Ce parcours, situé dans l'Ouest lyonnais, était relativement accidenté puisqu'il comportait plus de 600 virages. Il intégrait 60 kilomètres de routes nationales à 2 fois une voie, ainsi que des sections de routes départementales plus étroites, dont un tronçon de 15 kilomètres situé en moyenne montagne, comportant de ce fait de nombreux virages très serrés.

Ce trajet a été réalisé au volant d'un véhicule Renault Scénique (véhicule MARGO du LES-COT) une équipé de capteurs permettant d'enregistrer (a) les actions du conducteur sur les organes de commandes (les pédales, le volant, etc.), (b) la dynamique du véhicule (sa vitesse, par exemple, ou ses accélérations latérales et longitudinales), (c) d'un télémètre laser, (d) d'un jeu de caméras et (e) d'un microphone permettant d'enregistrer les verbalisations du conducteur. Outre ces équipements de base, MARGO a également été doté d'équipements supplémentaires dans le cadre spécifique de ce projet PARTAGE. Tout d'abord, pour connaître la position du véhicule sur la voie, deux caméras miniatures ont été fixées sur les rétroviseurs extérieurs droit et gauche. Ces caméras filmaient la chaussée au niveau des roues, permettant ainsi de visualiser la position du véhicule par rapport au centre de la chaussée et de l'accotement. Ces deux images étaient mixées lors de l'acquisition et diffusées aux expérimentateurs via des moniteurs vidéo, afin qu'ils puissent identifier en temps réel les situations de sortie de voie. Le véhicule était également équipé de technologies de perception de l'environnement (caméras) capables d'alimenter des algorithmes de traitement d'images développés au LIVIC (dans le cadre d'un projet antérieur) pour le calcul d'un Time to Lane Crossing (TLC). La figure ci-dessous présente deux exemples de films vidéo collectés durant cette expérimentation. La section en haut à droite correspond à la vue de la scène routière avant, filmée par une caméra située au niveau du rétroviseur central, enrichie en temps réel par les algorithmes de calcul de TLC du LIVIC (on y perçoit les bords de voie détectés sur la route et une estimation de la trajectoire du véhicule permettant de calculer une valeur de TLC). Le visage du conducteur apparaît dans la section située haut à droite. La section située en bas à gauche permet d'apprécier la position du véhicule sur la voie, obtenue par la fusion des images provenant des deux caméras extérieures positionnées sur les rétroviseurs. Enfin, la section située en bas à droite correspond à la scène routière avant, mais sans incrustation de valeurs.

La phase de conduite était suivie d'un entretien d'auto-confrontation (1h45 en moyenne). Le principe général de cette méthode était de visualiser avec les conducteurs le film vidéo collecté durant la réalisation du parcours, puis de s'arrêter sur les séquences de conduite jugées intéressantes (par les expérimentateurs et/ou par les participants). L'enjeu était alors de recueillir les jugements des conducteurs sur leurs propres manœuvres de sorties de voie, et de les inviter à



FIGURE 158 – Images vidéos (enrichies et mixées) collectées durant l’expérimentation LESCOT

procéder à des auto-évaluations de leur performance de conduite selon 13 dimensions (collectées via des échelles de Likert bipolaires, non graduées). Ils devaient tout d’abord juger la Criticité de chaque situation, évaluer leur Maîtrise de la conduite et indiquer si la dangerosité situationnelle était liée à la présence ou à l’action d’Autrui (i.e. un autre usager). Un second bloc de questions portait sur la catégorisation des sorties de voie en termes de Dangerosité, ou du caractère Volontaire et Conscient de cette manœuvre. Les conducteurs devaient aussi juger de la Légitimité de la sortie de voie (i.e. était-elle justifiée par les circonstances) ainsi que de sa Légalité au regard des règles du code de la route. Ils devaient également exprimer leur opinion en termes d’Erreur de conduite (commise ou non), ainsi que de Peur et de Surprise ressenties face à la situation ou aux événements. Enfin, ils devaient se prononcer sur leur Prise de Risque et indiquer, le cas échéant, si cette prise de risque avait été ou non Volontaire.

Résultats

Les résultats des travaux du LESCOT réalisés dans le projet PARTAGE qui seront présentés ici synthétiquement portent sur (1) l’analyse des sorties de voie observées sur route ouverte, (2) les spécifications ergonomiques des besoins en assistance et (3) la modélisation de l’activité (de franchissement de virage et des manœuvres de Sortie de Voie engagées en présence d’obstacle) pour l’analyse en temps réel des comportements de conduite et la gestion contextuelle des risques de sortie de voie (identification de critères décisionnels permettant de moduler les interventions d’une assistance selon les comportements, la nature de le Sortie de Voie et les conditions de conduite).

Analyse des sorties de voie observées en conditions réelles de conduite

Au cours de l’expérimentation sur route, 622 Sorties de Voie (SV) ont été observées (dont 259 ont fait l’objet d’une autoévaluation, soit 42% des cas), ce qui correspond en moyenne à 1 SV pour 2,5 kms parcourus. Ce premier résultat d’ensemble est intéressant, car il atteste du fait qu’en conduite naturelle, il arrive fréquemment que les conducteurs sortent de leur voie de circulation, et ceci le plus souvent sans en avoir véritablement conscience (seulement 6,3% des sorties de voie ont été remémorées spontanément par les participants lors de l’entretien réalisé au sortir du véhicule, et guère plus de 15% durant l’auto-confrontation, via de la visualisation du film vidéo). Ce nombre élevé s’explique tout d’abord par le fait qu’ont été qualifiées comme

des « sorties de voie » toutes les situations où l'une des roues avant du véhicule avait empiété sur le marquage au sol délimitant la voie de circulation (vis-à-vis de la voie opposée ou vis-à-vis de l'accotement), que la ligne ait été simplement « mordue » (chevauchement) ou « coupée » (franchissement). Ce choix de considérer les situations de chevauchement comme des SV à part entière est cependant justifié dans le contexte de cette recherche pour deux raisons. D'une part, parce qu'un dispositif de prévention des SV se devrait a priori d'anticiper les risques avant que la sortie de voie ne soit encore effective. Par ailleurs, le fait de mordre une ligne, du moins lorsque celle-ci est continue, constitue une faute de conduite au regard du code de la route, passible d'un retrait de 1 point sur le permis de conduire et de 135 Euros d'amende (3 points et 135 Euros pour un franchissement).

Les 363 Sorties de Voie observées mais n'ayant pas donné lieu à une autoévaluation (58,4% des SV) se sont généralement produites lors de franchissements de virages. Ces manœuvres de SV ont été engagées le plus souvent sans que le conducteur n'en ait véritablement conscience. S'il s'agit bien souvent d'un acte volontaire, au sens où les conducteurs ne sont pas sortis de leur voie par inadvertance, elles résultent néanmoins fréquemment d'habitudes de conduite fortement automatisées ou de stratégies d'optimisation de la trajectoire du véhicule fortement ancrées dans les pratiques des conducteurs échappant pour partie au contrôle conscient, notamment lors du franchissement de virages offrant une bonne visibilité du tracé de la route et du trafic à contresens.

Les 259 Sorties de Voie ayant donné lieu à la collecte de jugements d'autoévaluation se répartissent synthétiquement en 6 catégories principales que l'on peut regrouper en 2 blocs, en fonction de la manœuvre réalisée, du contexte situationnel dans le cadre duquel cette manœuvre a été observée (le type d'infrastructure routière ou les conditions de trafic, par exemple), mais aussi et surtout en fonction des jugements de légitimité proposés par les participants.

D'un côté (187 cas, soit 73% des Sortie de Voie observées), il convient en effet de regrouper trois catégories de SV jugées globalement par nos conducteurs comme moins légitimes (51% de jugement de légitimité en moyenne), correspondant à des manœuvres de Franchissements (137 cas, soit 53% des SV observées) ou de Chevauchements (34 cas; 14 % des SV) de lignes (un franchissement se distingue d'un chevauchement par l'amplitude de la sortie de voie ; la ligne de marquage au sol est franchement « coupée » dans le premier cas, alors qu'elle est simplement la « mordue » dans le second), ainsi qu'à des et les empiètements sur les Pistes Cyclable (toujours situées sur la droite de la chaussée dans le cadre de notre parcours; 16 cas, soit 6% des SV). Dans leur grande majorité, ces sorties de voies se sont produites en approche et/ou lors du franchissement de virages (isolés ou en série), et ceci en l'absence d'obstacle sur la chaussée. La responsabilité d'autrui dans l'engagement de cette manœuvre n'est par conséquent jamais engagée. Ces sorties de voie sont par ailleurs les moins volontaires (cela est particulièrement nette pour les chevauchements) et les moins conscientes. Elles relèvent souvent d'habitudes de conduite et de stratégies d'optimisation de trajectoires plus ou moins délibérées permettant de franchir les virages à une vitesse plus élevée. Elles sont en outre généralement jugées par nos conducteurs comme peu dangereuses, impliquant une prise de risque relativement faible et plutôt involontaire (la prise de risque lors des franchissements étant jugée comme plus volontaire). Ce sont aussi pour ces situations que la criticité situationnelle et les sentiments de peur ou de surprise sont évalués comme les plus bas. Ces manœuvres sont en outre jugées dans leur ensemble par les conducteurs comme moins légales et moins légitimes que les autres formes de sorties de voie. Elles ont été réalisées dans le cadre des situations de conduite jugées comme étant les moins bien

maîtrisées, et ce sont aussi pour ces manœuvres de SV que les jugements d'erreur sont les plus élevés.

De l'autre côté (72 cas, soit 27% des Sorties de Voie observées), il convient de regrouper trois catégories de SV jugées par nos conducteurs comme beaucoup plus légitimes (90% de jugement de légitimité en moyenne) et justifiées, à leurs yeux, par les circonstances de conduite. Il s'agit de manœuvres d'Évitements d'obstacles situés sur la chaussée (27 cas, soit 10% des SV), de Dépassements de vélos, de piétons, ou de véhicules lents (23 cas, soit 9% des SV) et de Déports latéraux (22 cas, soit 8% des SV) pour interagir avec un autre usager (véhicule circulant à contresens, piétons en mouvement sur les accotements, ou véhicule latéral souhaitant s'insérer sur notre voie de circulation). Ces Sorties de Voie ont été réalisées dans le cadre de situations de conduite jugées comme relativement critiques (que la criticité situationnelle ait justifié le recours à ces manœuvres ou, à l'inverse, qu'elle en soit la conséquence). Elles ont également été réalisées (comparativement aux catégories du bloc précédent) dans le cadre des situations ayant suscité les sentiments de peur (pour les déports, puis les dépassements, notamment) et de surprise les plus conséquents (pour les évitements d'obstacle, puis les déports, et enfin les dépassements). Toutefois, ces ressentis semblent ici plus liés aux conditions de conduite externes qu'à la manœuvre de sortie de voie au sens strict. Ces 3 types de manœuvres ont en effet été réalisées dans les situations pour lesquelles, outre le fort sentiment de légitimité, (i) les jugements d'erreur sont les plus bas, (ii) la situation de conduite est jugée comme ayant été la mieux maîtrisée (notamment pour les déports et les évitements d'obstacles), et (iii) la responsabilité d'autrui était la plus fortement engagée dans la dangerosité situationnelle.

Spécifications ergonomiques des besoins en assistance et enjeux pour la modélisation de l'activité

Au regard des analyses qui précèdent et des objectifs du projet PARTAGE en matière de conception d'un dispositif d'assistance pour la prévention des risques de sortie de voie, il apparaît clairement ici que nous avons à faire à des sorties de voies de nature très différentes, débouchant ainsi sur des besoins en assistances très contrastés.

D'un côté, il convient de distinguer les Sorties de Voie qui se sont produites en situation de franchissement de virage et sans aucun obstacle sur la chaussée. Ces manœuvres représentent près de 88% des sorties de voie observées durant l'expérimentation sur route (soit 550 situations sur les 622 Sorties de Voie observées). Pour ces sorties de voie-là, surtout si elles présentent un risque au vu des conditions de conduite ou si elles sont réalisées par inadvertance sans que le conducteur ne l'ait véritablement souhaité (on pense notamment ici aux effets de la distraction ou de l'inattention au volant), l'intervention d'une assistance en charge de prévenir les sorties de voie peut s'avérer a priori utile, légitime et nécessaire.

Toutefois, afin de pouvoir spécifier plus précisément les besoins en assistance et de juger de l'adéquation des comportements de conduite en fonction du contexte, le LESCOT s'est engagé dans le développement d'un modèle d'analyse de l'activité de franchissement de virage en l'absence d'obstacle (que cela ait entraîné ou non une sortie de voie), avec l'objectif d'analyser les stratégies des conducteurs et d'apprécier la criticité potentielle des différentes manœuvres de sortie de voie.

A l'inverse, pour les 72 sorties de voie (soit 12% des SV observées) mises en œuvre par les conducteurs afin d'éviter un obstacle, de dépasser un véhicule lent ou d'interagir adéquatement

avec un autre usager de la route (circulant à contresens, notamment), la question ne se pose plus du tout dans les même termes. Dans de telles conditions de conduite, en effet, la sortie de voie est engagée façon délibérée et consciente, et elle est légitime et nécessaire pour permettre au conducteur de gérer au mieux les risques situationnels. Bien que non forcément légale (transgressions de lignes continues ou de zébras, insertions temporaires sur une piste cyclable ou sur la bande d'arrêt d'urgence, par exemple), ce type de manœuvre de sortie de voie se doit néanmoins d'être préservé, sous peine d'entraver inutilement l'activité humaine, voire de dégrader la performance du conducteur tout autant que la sécurité de la conduite. Dans ces conditions, il est essentiel de définir des critères décisionnels permettant de discriminer de ces sorties de voies légitimes de celles qui ne le sont pas (ou moins), afin de pouvoir adapter les modalités d'Interaction Homme-Machine en fonction des exigences particulières de ces situations de conduite. A ce niveau, le LESCOT s'est engagé dans le développement d'un modèle d'analyse des manœuvres de sortie de voie en présence d'obstacle avec l'objectif de chercher à identifier certains indicateurs comportementaux et situationnels susceptibles d'être utilisés en temps réel pour adapter, limiter, voire empêcher l'intervention d'un dispositif anti-sortie de voie dans de telles circonstances de conduite.

Modélisation de l'activité pour l'analyse en temps réel des comportements de conduite et la gestion contextuelle des besoins en assistance

Pour ce qui est de la modélisation de l'activité franchissement de virage en l'absence d'obstacle, le modèle d'analyse temps réel de l'activité développé par le LESCOT s'inscrit tout d'abord dans une logique temporelle et géographiquement située. La figure ci-dessous présente synthétiquement le résultat de ce travail de modélisation des comportements de conduite observés sur route ouverte. Ce modèle d'activité distingue (outre les phases de conduite en ligne droite situées en amont puis en aval du virage) 4 phases de conduite du point de vue tactique : l'Approche, l'Entrée, la Gestion de la Courbe, et la Sortie du virage. Pour chacune de ces phases d'activité tactiques ont été identifiés (i) des besoins en perception et en analyse de la part du conducteur, afin de permettre un franchissement du virage sans sortir de sa voie de circulation, (ii) des actions attendues que devrait engager le conducteur au niveau opérationnel, s'il a bien perçu/analysé la situation, ainsi que (iii) certaines actions « anormales » ou de « récupération », susceptibles de se produire en cas de difficulté rencontrée et/ou d'un défaut de maîtrise de la part du conducteur.



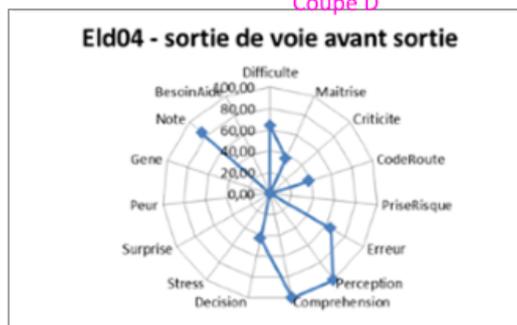
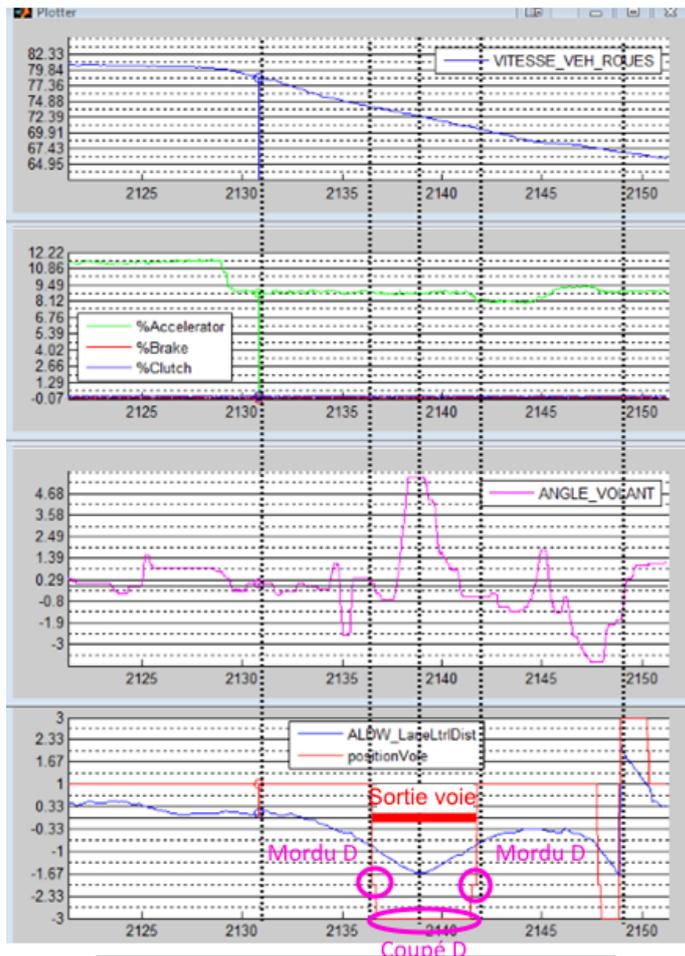
FIGURE 159 – Modélisation de l'activité de franchissement d'un virage à droite, au niveau tactique

En regard de ce phasage tactique de l'activité de franchissement de virage (assorti d'actions opérationnelles attendues ou anormales), ce modèle développé pour l'analyse en temps réel et le jugement d'adéquation des comportements visait également à apprécier les manœuvres de sorties de voie susceptibles de se produire, en termes de finalité des stratégies de conduite mises en œuvre et de criticité potentielle des manœuvres engagées. Cette analyse « géographiquement située » de l'activité et des risques de sorties de voie pourra être différente selon qu'il s'agira de franchir un virage à gauche ou un virage à droite, ou bien encore selon que la SV se produira vers la Gauche (i.e. vers le centre de la chaussée ; SV-G) ou vers la Droite (i.e. vers l'accotement ; SV-D). Ainsi, par exemple, dans le cadre d'un virage à droite isolé, la grande majorité des SV-G que nous avons observées en phases d'Approche et d'Entrée de virage correspondent à des manœuvres délibérées du conducteur (braquage différé, sous-braquage, voire contre-braquage), engagées par ce dernier en vue d'optimiser sa trajectoire de conduite. Synthétiquement, cette stratégie d'optimisation consiste ici à se décaler vers le centre de la chaussée en Approche et/ou Entrée de virage (d'où le risque de SV-G) puis à « plonger » ensuite vers le centre de la voie, voire l'accotement lors de la négociation de la courbe (via un sur-braquage pouvant entraîner une SV-D en milieu de courbe, surtout lorsque l'accotement le permet, comme en présence d'une piste cyclable à droite). Ce type de SV-G se produit généralement en l'absence de trafic opposé durant l'approche et/ou l'entrée, et alors que le conducteur a une bonne visibilité du virage. Bien qu'il puisse être pertinent de chercher à empêcher ces manœuvres de SV (ce qui reviendrait ici à vouloir modifier certaines « mauvaises » habitudes de conduite), l'enjeu pour la sécurité restera limité, du moins tant que certaines actions attendues seront effectivement observées (décélération en Approche/Entrée puis braquage suffisamment conséquent en phase d'Entrée pour permettre un retour rapide sur la voie durant la phase de Gestion de courbe) et qu'aucune action anormale/de récupération ne sera détectée (freinage fort accompagné d'un sur-braquage important en sortie de phase d'Entrée ou, plus encore, durant la Gestion de courbe), ce qui sera alors bien souvent un indicateur d'une mauvaise gestion du virage attestant alors de l'intérêt d'assister le conducteur. A la différence des cas précédentes, les SV-G se produisant durant les phases de Gestion de Courbe et de Sortie de virages à droite seront pour leur part souvent révélatrices d'un défaut de maîtrise de la part du conducteur, et présenteront en outre un risque de collision difficile à anticiper par celui-ci en début de manoeuvre, justifiant alors pleinement l'intervention d'un dispositif d'assistance. A l'image des exemples précédents, les différentes formes de Sorties de Voie observées durant l'expérimentation en situations de franchissement de virages (à gauche comme à droite) ont fait l'objet d'une analyse géographiquement située, dans l'objectif de pouvoir distinguer les SV plus volontaires correspondant à des stratégies d'optimisation de trajectoire et les SV involontaires résultant d'un potentiel défaut de maîtrise du véhicule, diagnostics susceptibles d'être utilisés en temps réels pour permettre d'adapter l'assistance aux besoins effectifs des conducteurs, en fonction de la nature des comportements de conduite engagés, par exemple, ou de la localisation des SV observées ou susceptibles de se produire.

Pour ce qui est de la modélisation de l'activité de Sorties de Voie en présence d'obstacles, l'enjeu de l'analyse en temps réel de l'activité n'était plus ici d'identifier des « comportements inadéquats » ni même de diagnostiquer des « Risques de Sortie de Voie » (en termes de probabilité d'occurrence ou de criticité potentielle) permettant de déclencher l'intervention d'une assistance à la conduite, mais il s'agissait bien au contraire d'identifier ces manœuvres de SV engagées délibérément par le conducteur pour gérer les risques situationnels, afin ne pas les perturber inutilement. Dans ce contexte, les travaux de modélisation du LESCOT se sont orientés vers

la recherche d'indicateurs situationnels et comportementaux susceptibles d'être utilisés par un algorithme d'analyse temps réel de l'activité située afin de pouvoir discriminer ces manœuvres légitimes des autres formes de sorties de voie, et ceci dans l'objectif d'empêcher l'activation d'un dispositif d'assistance (si celui-ci n'intervient qu'en cas de SV) ou de le désactiver temporairement (s'il repose sur un processus continu de contrôle mutuel). Procéder à de telles analyses nécessitait de disposer d'informations sur la situation de conduite extérieure qui dépassaient largement les données collectées par nos capteurs embarqués durant l'expérimentation sur route ouverte. Ainsi, par exemple, pour pouvoir analyser les SV et juger de l'adéquation des comportements de conduite engagés, il convenait non seulement de connaître la position du véhicule sur la chaussée, mais également d'être en mesure de repérer la présence d'un obstacle sur la voie de circulation, d'en connaître la nature (véhicule, cycliste, piéton), la dynamique (obstacle fixe ou en mouvement), ainsi que la position sur la chaussée (au centre de la voie ou sur le côté droit, sur la chaussée ou sur l'accotement) comme par rapport à celle de notre véhicule (distance à l'obstacle, Temps à la Collision). Dans la mesure où aucun partenaire impliqué dans le consortium PARTAGE n'était en charge de travailler sur de telles fonctions de perception, les travaux de modélisation du LESCOT s'inscrivaient ici dans une démarche plus prospective, et ont nécessité de procéder à des recodages « manuels » de ces paramètres situationnels sur un jeu de 20 situations jugées prototypiques (parmi l'ensemble des SV collectées sur route ouverte). Parmi les situations modélisées, le LESCOT s'est particulièrement intéressé à l'analyse des manœuvres de SV-G engagées lors du dépassement de cyclistes, ainsi qu'aux manœuvres de SV-D visant à se prémunir d'un risque de collision avec un véhicule circulant à contre-sens, mais empiétant sur notre voie. Sur la base des paramètres situationnels recodés et des données comportementales collectées en temps réel, certains critères décisionnels ont alors été identifiés en vue de juger de la probabilité d'occurrence et de la légitimité de ces manœuvres de sorties de voie et, au-delà, de permettre dans l'avenir d'adapter les stratégies d'un dispositif anti-sortie de voie aux différentes situations de conduite considérées.

Annexe K - Cas de sortie de voie sur la bande d'arrêt d'urgence



Vue 1 : Le conducteur enclenche son clignotant à droite en voyant le panneau de la sortie (annoncée à 600 mètres).

Vue 2 : Au delà du refuge à droite, notre conducteur se déporte sur la droite.

Vue 3 : La moitié du véhicule se trouve à présent sur la voie d'arrêt d'urgence. La monitrice intervient verbalement "nous allons rester dans notre voie, la sortie est plus loin".

Vue 4 : Le conducteur se replace dans la voie, sans au cun contrôle dans ses rétroviseurs, ni dans l'angle mort.

Vue 5 : 150 mètres et quelques secondes plus tard, le conducteur sort du périphérique au niveau de la sortie.

Annexe L - Les diagrammes états-transitions dans StateFlow

Stateflow est un sous produit de *Simulink* qui intègre les *Statecharts* (diagrammes d'états), véritable « *formalisme visuel pour les systèmes complexes* » [Harel, 1987]. *Simulink* est un outil utilisé dans l'automobile et l'aéronautique pour modéliser le fonctionnement de certains systèmes complexes. L'interface de *Stateflow* offre la possibilité, à partir de quelques éléments (des états, des transitions, et des conditions), de prototyper des systèmes complexes avec le confort de la programmation graphique. Lorsque les statecharts sont compilés, ils sont traduits en code C pour être exécutés par le logiciel qui donne en retour une animation des différents actifs au cours du temps (comme on le voit sur l'exemple⁴, figure 160). Les transitions sont matérialisées par les flèches, les états par des boîtes, et les conditions par des [], attachées à des transitions.

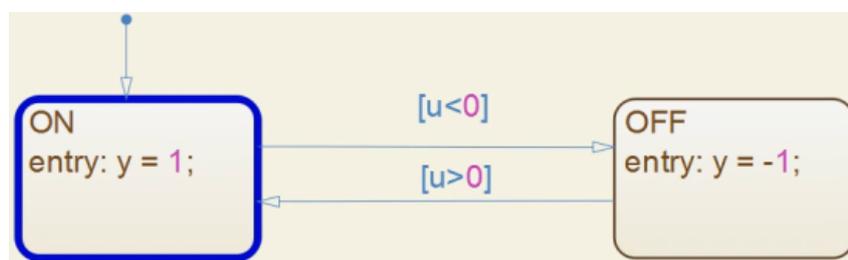


FIGURE 160 – Exemple de statecharts à deux états (ici en bleu l'état actif).

La figure 161 présente un exemple⁵ de système complexe modélisé (ici la transmission automatique d'un véhicule) à l'aide du formalisme des statecharts.

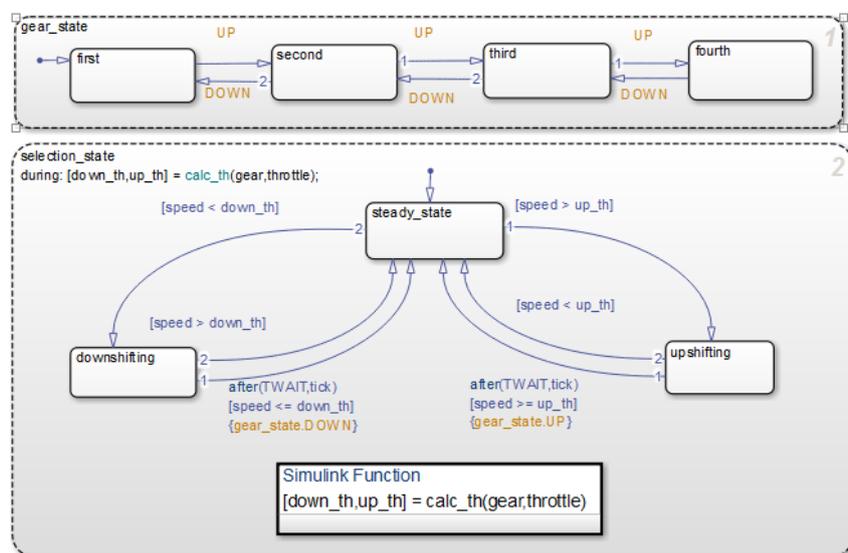


FIGURE 161 – Exemple de modélisation d'une boîte de vitesse automatique.

Le formalisme des statecharts intègre la logique de *parallélisme* et d'*exclusivité*, ainsi que la *hiérarchisation* et l'*historique des états*.

⁴source : site web mathworks

⁵source : documentation en ligne de Stateflow