HAL
open science

Assistance aux conducteurs âgés : Analyse de l'activité pour la conception de futures fonctions de monitorage de la conduite automobile

Jean-Christophe Paris, Thierry Bellet, Claude Marin-Lamellet, Maurice Cour, Serge Boverie, Bernard Claverie

To cite this version:

Jean-Christophe Paris, Thierry Bellet, Claude Marin-Lamellet, Maurice Cour, Serge Boverie, et al.. Assistance aux conducteurs âgés : Analyse de l'activité pour la conception de futures fonctions de monitorage de la conduite automobile. RTS. Recherche, transports, sécurité, 2015, Conducteurs âgés, 2014 (04), pp.227-243. 10.4074/S0761898014004026 . hal-01326509

HAL Id: hal-01326509

https://hal.science/hal-01326509v2

Submitted on 12 Feb 2018

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

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

Rech. Transp. Secur. (2014) 30:227-243

ARTICLE ORIGINAL / *ORIGINAL ARTICLE*

Assistance aux conducteurs âgés : Analyse de l'activité pour la conception de futures fonctions de monitorage de la conduite automobile

Assisting older drivers: from activity analysis to monitoring functions' design for safe driving

Jean-Christophe Paris · Thierry Bellet · Claude Marin-Lamellet · Maurice Cour · Serge Boverie · Bernard Claverie

© IFSTTAR et Éditions NecPlus 2014

Résumé L'autonomie et la mobilité individuelle des personnes âgées représentent un enjeu sociétal important pour de nombreux pays. Or conduire est une activité complexe qui peut représenter un risque potentiel pour les conducteurs âgés, dont les capacités perceptives, cognitives ou motrices ont décliné. Pour maintenir la mobilité des ainés tout en favorisant une sécurité routière pour tous, les systèmes d'assistance constituent une réponse potentielle au soutien de la conduite des conducteurs âgés. Pour concevoir de tels systèmes, il est nécessaire d'observer et d'analyser l'activité de conduite des âgés en situation naturelle (au volant d'un véhicule instrumenté évoluant dans la circulation, sur route ouverte). Cette investigation vise à identifier des difficultés rencontrées sur la route par ces conducteurs, afin de spécifier ergonomiquement puis de concevoir des systèmes d'assistance adaptés aux besoins réels de cette population, en s'appuyant notamment sur des fonctions de « monitorage » permettant d'apporter une aide adaptée au contexte de conduite. Cet article introduit cette méthode de « Conception Centrée sur l'Humain » mise en place dans le cadre de cette recherche, et illustre notre démarche (aux moyens d'exemples concrets) d'analyse fine de l'activité de conduite des conducteurs âgés, à des futures fins de conception ergonomique de systèmes d'aide à la conduite adaptés aux besoins spécifiques des séniors (E-ADAS : *Elderly-Adapted Driving Assistance Systems*).

Mots clés monitorage · conduite automobile · conducteurs âgés · systèmes d'aide à la conduite · conception centrée sur l'humain

Abstract Autonomy and individual mobility of elders become a societal issue for many countries. However, driving is a complex and demanding activity, liable to generate potential risk for elder drivers whose perceptive, cognitive or motor capabilities have diminished with aging. In order to both maintain older driver's mobility and road safety for all, driving assistances offers a potential solution, providing a support for this group of drivers. In order to develop such systems, it is needed to observe and to analyze actual driving behaviours of older drivers in ecological driving conditions (using an instrumented vehicle on open roads within the traffic). This in depth investigation aims at identifying specific difficulties encountered by elders while driving in order to ergonomically specify and then to design future Elderly-Adapted Driving Assistance Systems (E-ADAS) based on monitoring functions technology for context-adaptive assistance. This paper introduces the Human Centered Design approach we implemented in this

Jean-Christophe Paris (✉)
IFSTTAR (TS2 – LESCOT)
25 avenue François Mitterrand, cité des mobilités
69675 Bron Cedex, France
e-mail : jean-christophe.paris@ifsttar.fr

Thierry Bellet (✉)
IFSTTAR (TS2 – LESCOT)
25 avenue François Mitterrand, cité des mobilités
69675 Bron Cedex, France
e-mail : thierry.bellet@ifsttar.fr

Claude Marin-Lamellet (✉)
IFSTTAR (TS2 – LESCOT)
25 avenue François Mitterrand, cité des mobilités
69675 Bron Cedex, France
e-mail : claude.marin-lamellet@ifsttar.fr

Maurice Cour (✉)
Continental Automotive France SA
31036 Toulouse Cedex 1, France
e-mail : maurice.cour@continental-corporation.com

Serge Boverie (✉)
Continental Automotive France SA
31036 Toulouse Cedex 1, France
e-mail : serge.boverie@continental-corporation.com

Bernard Claverie (✉)
IMS UMR 5218, 351 Cours de la Libération
33405 Talence Cedex, France
e-mail : bernard.claverie@ensc.fr

research and presents a first set of preliminary results in terms of in depth analysis of older drivers' activity which constitutes the first step towards the future ergonomic design of E-ADAS.

Keywords Monitoring · Driving · Senior drivers · Driving assistance system · Human centered design

Contexte de la recherche

La conduite automobile est la plus complète et complexe des activités instrumentées de la vie quotidienne [1]. Elle présente aussi un certain nombre de risques. En effet, le nombre de victimes d'accidents de la route s'élève à près de 3 250 tués et 70 821 blessés en France au titre de l'année 2013 [2]. Une caractéristique importante de cette activité est que chaque conducteur est à la fois seul dans son véhicule mais également en interaction avec les autres conducteurs.

Dans le cadre de cette recherche, nous nous intéressons à un profil d'usagers de la route particulier : le conducteur âgé. En France, les prévisions démographiques conjecturent que la part des 65 ans et plus pourrait augmenter de 80 % d'ici à 2035 pour atteindre un tiers de la population d'ici à 2060 [3]. Ces individus conservent leur permis de plus en plus longtemps et représentent la classe de conducteurs qui croît le plus rapidement [4]. Pour une partie importante de cette population le recours au véhicule personnel est privilégié aux autres modes de transports, avec plus de 60 % des déplacements des 65 ans et plus, et plus de 50 % au-delà de 75 ans [5]. L'utilisation de la voiture relève d'une nécessité pour garantir indépendance et autonomie dans leurs activités sociales, plus encore pour les personnes résidant dans des zones rurales. Toutefois, compte tenu des effets du vieillissement sur les capacités perceptives, cognitives ou motrices, les conducteurs âgés peuvent éprouver des difficultés dans la conduite voire commettre certaines erreurs de conduite. Bien que cette classe de conducteurs ne soit pas, dans l'absolu, plus à risque qu'une population plus jeune, leur risque d'avoir un accident, rapporté au nombre de kilomètres parcourus augmente avec l'âge [6], et de façon exponentielle à partir de 75 ans [7]. Ceci est d'autant plus critique qu'ils sont particulièrement vulnérables en cas d'accidents [8]. Pour maintenir la mobilité des ainés tout en favorisant une sécurité routière pour tous, les systèmes d'assistance constituent une réponse potentielle au soutien de la conduite des conducteurs âgés.

L'offre technologique en matière d'aides à la conduite est en pleine croissance. Aujourd'hui, ces dispositifs sont capables d'assurer, au moins partiellement différentes sous-tâches de la conduite, voire de piloter le véhicule de façon totalement automatique pour différents prototypes. Malheureusement, c'est souvent de façon « techno-centrée » et partiellement « aveugle » sur l'activité et les besoins réels des conducteurs que « raisonnent » les concepteurs de ces dispositifs. La démarche de Conception centrée sur l'humain » (*Human Centred Design*), telle que nous la mettons en œuvre dans le cadre de cette recherche, vise précisément à éviter cet écueil. En effet, à l'image des travaux réalisés au cours des trente dernières années dans le domaine aéronautique, il apparaît que la fiabilité de la technologie ne peut pas se concevoir indépendamment de la façon dont celle-ci sera utilisée par les humains (c'est-à-dire, les *usages*). Pour garantir la sécurité, il est essentiel de ne pas s'en tenir seulement aux performances techniques, mais de se préoccuper également des interactions entre les humains et les assistances. Il s'agit par exemple de considérer la façon dont le Système homme-machine dans son ensemble réduit *versus* accroît les risques [9].

Nous proposons ainsi d'adopter une approche de conception centrée sur l'humain de futurs dispositifs d'assistance à destination des conducteurs seniors (ou *S-ADAS*, pour *Senior-Adapted Driving Assistance Systems*). Le cœur de ce travail concerne la définition de fonctions de « monitorage » (en référence au terme anglais *monitoring*) de l'activité du conducteur, afin de permettre une gestion contextuelle de la coopération conducteur-système d'aide-véhicule. Notre démarche s'inscrit dans la philosophie du « copilote intégré » [10].

Problématique et enjeux de la recherche

La conduite est une activité multi-niveaux [11] qui implique des composantes fortement automatisées de l'activité (niveau opérationnel), mais aussi et surtout des fonctions cognitives plus complexes (niveaux stratégique et tactique). Le niveau stratégique concerne la planification d'un déplacement, et la tâche de navigation. 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. Le niveau opérationnel quant à lui renvoi au contrôle du véhicule par l'intermédiaire de ses commandes, lors de la réalisation d'une manœuvre.

Conduire, c'est tout d'abord percevoir, dans un environnement en perpétuelle évolution, les éléments pertinents et utiles au bon déroulement de cette tâche. À partir de ce que l'on perçoit, nous élaborons une représentation mentale de notre environnement routier, structurée à partir de nos connaissances, représentation qui correspondra à la « conscience » que nous avons de la situation [12]. C'est en se basant sur ses représentations mentales que le conducteur prend ses décisions au volant, en très grand nombre et dans des intervalles de temps très rapprochés [13]. À partir de ces raisonnements, des schémas de conduites sont alors activés afin de mettre en œuvre les actions nécessaires à

la progression du véhicule dans l'environnement routier, en suivant un itinéraire connu ou non, tout en satisfaisant le but poursuivi et les contraintes de la situation [14]. Au final, l'activité de conduite automobile est une activité de contrôle de processus dynamique qui s'articule en une succession de cycles perception-décision-action, et cela même lorsque l'on circule seul dans un environnement familier dépourvu de circulation. Immergé dans un flot de circulation, le nombre de paramètres à prendre en compte croît fortement et l'activité de conduite devient alors plus exigeante et temporellement plus contrainte.

Au cours du vieillissement, un certain nombre de changements physiques ou cognitifs peuvent affecter la capacité à conduire. Les limitations physiques ou fonctionnelles entraînent fréquemment la mise en place de stratégies de compensations ou de régulations de l'activité de conduite [15]. Ces compensations peuvent prendre plusieurs formes : évitement des situations difficiles (trafic dense aux heures de pointe, conduite de nuit etc.), réduction des distances parcourues, réduction de la fréquence et de la vitesse de conduite automobile, conduite uniquement sur des itinéraires familiers [16]. Une limitation de la conduite peut certes limiter l'exposition au risque d'accident mais également engendrer une perte d'expérience pouvant s'avérer d'autant plus néfaste [17]. De plus, la conduite automobile, de par la diversité des processus qu'elle mobilise, constitue une formidable « gymnastique mentale » qui peut s'avérer bénéfique au maintien des capacités cognitives des individus. En effet, plusieurs études établissent le lien entre l'arrêt de la conduite et l'augmentation du déclin cognitif, qui impacte la globalité de la qualité de vie des personnes âgées dans un grand nombre d'activités du quotidien [18]. Le risque d'isolement social et de dépression est également plus important à la suite de l'arrêt de la conduite, d'autant plus en milieu rural [19]. Dès lors, le maintien au volant des conducteurs âgés, pour préserver leur santé comme leur vie sociale, tout en garantissant un cadre sécuritaire du point de vue de la conduite automobile, se pose comme l'un des défis majeurs des prochaines décennies.

Les aides à la conduite peuvent permettre aux conducteurs âgés de prolonger leur vie de conducteur actif, mais cela implique qu'elles soient bien adaptées à leurs besoins et à leurs capacités [20, 21]. À cette fin, l'une des ambitions de ce projet est de concevoir des fonctions de « monitorage » permettant l'adaptabilité de l'assistance aux besoins réels des conducteurs âgés, en fonction du contexte de conduite et des difficultés que rencontrent les conducteurs sur la route. Le concept de *monitorage* 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 » [22]. Cette surveillance est effectuée en continu ou à intervalles rapprochés, à partir de mesure de paramètres ou enregistrements de phénomènes divers (comme les battements cardiaques). Au sens technologique, le monitorage correspond à « une technique de surveillance de systèmes complexes, assistée par ordinateur » [22]. 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 » [22]. Transposé à la problématique de l'assistance à la conduite automobile, le monitorage renvoie à l'idée d'observer et d'analyser en temps réel l'activité du conducteur, afin de repérer des difficultés et ou/des erreurs de conduite nécessitant l'intervention d'une assistance [23]. Pour concevoir de telles fonctions de monitorage, 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 susceptible de les pallier [10].

Cet article se focalise plus spécifiquement sur le travail réalisé pour la recherche de tels indicateurs. À cette fin, nous avons mis en place une méthodologie permettant d'observer, d'enregistrer, puis d'analyser finement l'activité de conduite en situation naturelle. Cette démarche méthodologique d'Analyse de l'activité est au cœur de l'approche d'intervention en Ergonomie. Sur la base des données obtenues et des traitements actuellement en cours, il s'agira ensuite de spécifier de futures fonctions de monitorage (à l'aide de méthodes issues de l'ingénierie cognitive), pour disposer *in fine* de systèmes d'aides capables de s'adapter aux besoins réels des conducteurs âgés. Ce second volet, plus prospectif, sera abordé dans la dernière partie de cet article sous l'angle du prolongement futur des travaux d'analyse présentés ici.

Méthodologie pour l'observation écologique de l'activité de conduite

Un grand nombre d'études s'intéressent à la question du vieillissement dans le cadre de la conduite automobile, dont des synthèses peuvent être trouvées dans [21, 24, 25]. 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. Certains auteurs pointent cependant une différence importante entre ce qui est rapporté par

les conducteurs âgés et ce qui peut être observé sur route [26]. D'autres précisent que les conducteurs âgés n'ont pas tous une estimation correcte de leurs capacités de conduite [27]. 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 [28].

La première étape, en matière de conception centrée sur l'humain, consiste à connaître l'activité naturelle de conduite pour cerner les situations dans lesquelles les conducteurs âgés peuvent rencontrer de réelles difficultés ainsi que le type d'erreurs de conduite qu'ils sont susceptibles de commettre. L'investigation d'une activité aussi complexe que la conduite automobile suppose d'observer les conducteurs et d'enregistrer les paramètres de l'activité dans des conditions écologiques (c'est-à-dire au volant d'un véhicule, immergé dans la circulation), afin de ne pas dénaturer la complexité de la tâche [29].

Parcours expérimental sur route ouverte

La littérature portant sur l'accidentologie, les habitudes d'autorégulation adoptées par les conducteurs ou la mise en place de protocole de test de conduite sur route permettent de cibler les éléments que doit intégrer un parcours expérimental visant à mesurer et enregistrer les difficultés rencontrées et/ou erreurs commises par les conducteurs âgés [30]. Les problèmes auxquels sont confrontés les conducteurs âgés 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 priorités [30]. Parmi ces éléments, la traversée d'intersections complexes (plus encore lors de manœuvres de tourner à gauche [31]), les changements de voie, ou les insertions sur voies rapides apparaissent comme des manœuvres d'intérêt pour notre étude [21, 24]. Les manœuvres impliquant une vitesse basse sont également susceptibles de poser des difficultés [30]. Ces différentes situations renvoient à la fois au niveau opérationnel et au niveau stratégique. Enfin, des zones moins contraintes telles que des sections droites sans intersections ou des virages sont également intéressantes pour mesurer la performance en termes de contrôle latéral et longitudinal, renvoyant quasiment exclusivement au niveau opérationnel. Ces différentes situations doivent donc être incluses dans le parcours expérimental puisque reconnues comme problématiques pour les conducteurs âgés.

À partir de ces connaissances, nous avons déterminé un parcours expérimental aux alentours de notre laboratoire situé à Bron, en incluant des manœuvres de difficultés variables pour les conducteurs âgés dans des infrastructures diversifiées (Tableau 1). Concernant la partie urbaine, différents types de Tourner à gauche (TaG) et Tourner à droite (TaD) ont été retenus en fonction de la présence ou non de feux tricolores, du type d'infrastructure et des règles de priorités. Nous avons également ciblé des zones limitées à 30 km/h, dont une zone aménagée comprenant un radar pédagogique. Pour la partie péri-urbaine, des tronçons à variations de vitesse maximale autorisée ont été sélectionnés. Certaines portions sont en ligne droite avec ou sans zones de dépassement et d'autres en virages, à simple ou double voie, avec ou non présence de feux tricolores. La portion de voies rapides incluse comporte deux voies d'accélérations et de décélération ainsi que le passage devant deux radars automatiques. Plusieurs Zones d'interactions avec d'autres usagers (ZI) tels que les changements de voie pour suivi de directions ou rencontre de bretelles d'accès sont réparties tout au long du parcours. Enfin, nous avons ajouté une manœuvre de créneau à droite, réalisée en fin de parcours, deux véhicules délimitant un espace de six mètres de long, disposés le long d'un trottoir, sur le parking du laboratoire.

Tableau 1 Description du parcours expérimental

Distance ; durée approximative	27,6 km ; 50 minutes
Tourne-à-gauche ; Tourne-à-droite	11 ; 6 (avec feux 3 ; 1)
Ronds-Points ; Priorité à droite	5 ; 2
Entrées ; Sorties Voies rapides	2 ; 2
ZI suivi direction ; bretelles accès	Urbain (4) ; Péri-Urbain (2) ; Voies rapides (2 ; 6)
Répartition des types de routes	Urbain (40 %) ; Péri-Urbain (20 %) ; Voies rapides (40 %)
Limitations de vitesse	30 km/h ; 50 km/h ; 70 km/h ; 90 km/h
Radars fixes/Radar pédagogique	2 ; 1

Pour comprendre et analyser l'activité de conduite automobile dans toute sa complexité, de multiples dimensions du trièdre conducteur-véhicule-environnement sont à considérer. D'un côté, nous collectons des données objectives à l'aide d'un véhicule instrumenté au volant duquel nos conducteurs réalisent le parcours. D'un autre côté, nous collectons des données subjectives dans le cadre d'un entretien d'explicitation de l'activité réalisé au terme de la phase de conduite. Ces différentes sources de données sont détaillées ci-après.

Véhicule instrumenté

Le véhicule utilisé pour cette étude (Fig. 1-a) est une Peugeot 307. Ce dernier possède une motorisation diesel, 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.

Un ensemble audiovisuel composé de caméras miniatures permet de capturer différentes vues de ce qui entoure le véhicule (à l'avant et à l'arrière), et des vues de l'habitacle (comme le visage du conducteur ou sa posture générale). Des microphones capturent l'ambiance sonore dans l'habitacle. Deux configurations d'enregistrement vidéo sont utilisées : l'une allégée (5 vues) pour le support analogique, et l'autre plus complète (7 vues) pour le support numérique.

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 (Fig. 1-c), l'angle du volant, l'état des clignotants ou la distance parcourue par le véhicule. La position globale et la dynamique du véhicule comme les accélérations latérales et longitudinales et la vitesse du véhicule sont également mesurées par le biais d'une unité inertielle miniature. Un ordinateur est dédié à l'enregistrement synchronisé de ces paramètres. Pour compléter la liste des paramètres du véhicule, les signaux codés transitant sur le bus-CAN du véhicule sont également capturés par le biais d'un enregistreur professionnel Kvaser. Ils renseignent sur une multitude de paramètres tels que la consommation, l'état des feux, le rapport de boîte de vitesse engagé, le régime moteur, etc. Un dispositif de suivi du regard Facelab est également installé au niveau du poste de conduite (Fig. 1-b)

Un dispositif matériel et logiciel de perception de l'environnement complète cette configuration. Cette solution se compose d'un radar installé derrière le pare-chocs avant, couplé à une caméra CAN installée en position centrale sur le pare-brise. Ces deux capteurs sont couplés à 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 avant du véhicule.

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 (Fig. 1-e). L'intégration de tous ces dispositifs est faite de manière à limiter au maximum toute perturbation, que ce soit pour conducteur lorsqu'il se trouve au volant (Fig. 1-b) ou pour les autres usagers lorsque le véhicule circule sur la route.

Supervision embarquée

Dans le cadre de notre étude, les participants doivent réaliser un parcours en suivant les indications de directions données par une monitrice d'auto-école, assise sur le siège passager avant. Les informations de directions sont données, soit sous la forme d'une direction à suivre (comme « suivre Grenoble/Chambéry »), soit par indication 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. 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. Lorsqu'aucune indication n'est donnée par la monitrice, le participant a pour consigne de suivre par défaut la direction « aller tout droit ».

Au-delà des indications de guidage, la monitrice supervise les manœuvres réalisées par le conducteur pour assurer

Fig. 1 Vues intérieures et extérieures du véhicule IFSTTAR LESCOT

la sécurité et prend note des événements marquants et/ou des situations critiques qui peuvent survenir pendant la conduite. À l'issue de la phase de conduite, la monitrice effectue un compte rendu global aux analystes en charge de mener l'entretien d'explicitation de l'activité.

Entretien d'explicitation de l'activité

Après 10 minutes de pause, 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 verbaliser toutes les situations vécues ou moment du parcours qui lui reviennent spontanément en mémoire. Ces éléments sont pris en note 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 (Fig. 2). L'enregistrement vidéo collecté durant la phase de conduite est rejoué dans le but de réaliser un entretien d'explicitation [32], basé sur la méthode d'auto-confrontation [33].

À partir de ces méthodes, le participant revit l'intégralité du parcours et doit réaliser une autoévaluation 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 suite au retour de la monitrice, par le participant lui-même ou par les analystes qui découvrent en temps réel les différentes situations de conduite. Les auto-évaluations du participant couvrent 14 dimensions divisées en 5 catégories (Tableau 2) et sont recueillies 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.

Les dimensions utilisées proviennent de précédents travaux menés au sein de notre laboratoire, notamment sur les questions de prévention du risque de sortie de voie. 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 [34]. Pour ce qui concerne la performance, nous demandons

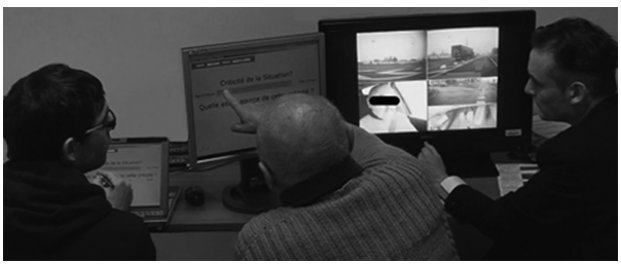

Fig. 2 Illustration de l'entretien d'explicitation de l'activité avec un participant

Tableau 2 Description des dimensions auto évaluées par le participant pour chaque situation

Catégories	Formulation présentée au conducteur	Extrémités de l'échelle (de 0 % à 100 %)
Tâche de conduite	Difficulté de la tâche de conduite ? Maitrise de la situation ? Criticité de la situation ? Quelle est la source de cette criticité ?	Très facile – Très difficile Pas du tout – Totalement Non critique – Très critique « Moi » ou « Autres » ou « Hasard »
Performance	Prise de risque ? J'ai commis une erreur ? Respect du Code de la Route ; Note sur l'ensemble de cette situation ?	Aucune – Importante Aucune – Importante Pas du tout – Totalement Note sur 20
Évaluation Conscience de la Situation	Perception des évènements ? Compréhension de la situation ? Prise de décision ?	Mauvaise – Bonne Mauvaise – Bonne Mauvaise – Bonne
Ressentis	J'ai été Stressé(e) ? J'ai été Surpris(e) ? J'ai eu Peur ? J'ai été Gêné(e) dans ma conduite ? Source(s) de cette gêne ?	Pas du tout – Énormément Pas du tout – Énormément Pas du tout – Énormément Pas du tout – Énormément « Moi » et/ou « Autres » et/ou « Infrastructure »
Assistance	Auriez-vous souhaité une aide ?	Pas du tout – Énormément

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 y 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 [35]. Enfin, nous nous intéressons à tout ce qui peut freiner la mobilité des conducteurs âgés, 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 vingt pour chaque situation analysée.

Participants

Dans le cadre de cette étude, nous ciblons une population de conducteurs de 70 ans et plus, hommes et femmes, issus d'une cohorte de conducteurs âgés représentatifs de la population du Rhône [36]. Parmi les critères d'inclusion, les participants doivent détenir un permis de conduire valide, posséder un véhicule et conduire au moins plusieurs fois par semaine, même sur de courtes distances. L'effectif total des participants est de 76 personnes âgées de 70 à 87 ans (M= 74,1, SD = 3,74) reçues 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). Chaque participant reçoit une indemnisation de soixante euros pour sa participation à l'étude.

Procédure expérimentale

L'expérimentation dure environ trois heures et est organisée comme suit :

- Accueil du participant
- Ajustements du siège en distance au volant, en hauteur et en inclinaison du dossier. Réglages des rétroviseurs extérieurs et du rétroviseur central.
- Description du véhicule, de l'emplacement des manettes de clignotants, d'essuie glaces, et d'allumage de feux.
- Session de conduite d'environ 50 minutes, incluant une phase de prise en main de 10 minutes du véhicule au départ du parcours.
- Pause de 10 minutes pour le participant, pendant que la monitrice effectue un débriefing auprès des analystes en charge de l'entretien d'explicitation.
- Entretien d'explicitation de l'activité basé sur l'enregistrement vidéo de la conduite (durée d'environ 2 heures).
- 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.

Traitements des données

Méthode pour l'exploitation des données

Concernant l'organisation de l'exploitation des données de conduite, nous avons opté pour deux démarches d'analyse menées conjointement : une approche descendante et une approche ascendante. D'une part, l'approche descendante est pilotée par les hypothèses issues de la littérature concernant les situations potentiellement problématiques pour les conducteurs âgés ainsi que par les jugements globaux que nous réalisons sur les séquences de conduite vécues par les participants. Elle permet, à partir de ces deux points d'entrée, d'identifier un ensemble de situations cibles et de procéder à des études détaillées de cas de survenue d'un certain type de problème dans une certaine configuration. Nous utilisons pour cela le formalisme de « chroniques d'activité » présenté dans la section « Production de "chroniques d'activité" ». Cela permet, au-delà de l'identification d'une situation problème, de la décrire le plus finement possible 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 obtenons ainsi des marqueurs situationnels et des marqueurs comportementaux pour chaque situation problème analysée. En analysant précisément les paramètres de conduite disponibles, il est alors possible d'identifier des marqueurs objectifs en lien avec cette situation problème. D'autre part, 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 et s'enrichissent mutuellement car elles permettent d'appréhender l'activité selon des niveaux de granularité variables mais complémentaires. L'étape descendante est en cours de finalisation et les résultats présentés dans la suite constituent un premier bilan non exhaustif. Bien que la seconde approche ne soit pas détaillée

dans cet article, nous illustrerons à partir d'un exemple de chronique (Fig. 4), en quoi ces deux approches s'alimentent mutuellement au long du processus itératif d'analyse.

À l'issue de la collecte, les fichiers de données recueillis sont vérifiés, resynchronisés, annotés (ex : commentaires émis par le participant ou jugements des analystes collectés durant l'entretien d'explicitation, avis de la monitrice), puis enrichis de nouveaux paramètres. Ainsi, par exemple, grâce au support de l'équipementier Continental Automotive France qui fournit la solution de perception de l'environnement, il est possible d'obtenir des paramètres intéressants en termes de contrôle latéral avec le risque de sortie de voie via le *Time to Lane Crossing* (TLC) à gauche et à droite. À partir du filtrage et après traitements des données brutes du radar, de nouveaux paramètres concernant le contrôle longitudinal sont calculés comme le temps au véhicule suivi avec le *Time Headway* (TH) ou le *Time To Collision* (TTC). Toujours à titre d'illustration, un enrichissement provenant de la description précise du parcours à partir d'une base de données cartographique personnalisée est également en cours de réalisation.

Visualisation de l'activité observée

L'objectif de cette section est de présenter un exemple de visualisation de données obtenues durant les expérimentations (Fig. 3). Nous utilisons un logiciel développé au LESCOT 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 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 3. La situation de conduite présentée 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 3 quatre types de contenus : vidéo (A), courbes (B), repérage cartographique (C) et valeurs numériques instantanées (D).

Pour la vidéo (Fig. 3-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 (Fig. 3-B), nous affichons 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 (Fig. 3-D). Enfin, un tracé du parcours est réalisé sur une cartographie, et un repère indique la position courante (Fig. 3-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 intervéhiculaire avec l'ambulance, dont les valeurs ont été divisées par 3 lors de cette manœuvre (voir repère T = 2 290). Basé sur cette méthode de visualisation, nous pouvons élaborer des « chroniques d'activité » en situation, que nous utilisons pour l'analyse fine de l'activité de conduite.

Production de « chroniques d'activité »

Une chronique correspond à un « scénario » [37] de conduite particulier que l'on va chercher à décrire et à analyser temporellement. Cela consiste à identifier des instants clés ou « état » (un début, une fin et un ensemble d'états intermédiaires signifiants), 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 des événements et des comportements au fur et à mesure de l'évolution de la situation. La figure 4 présente un exemple de chronique en situation de dépassement sur le périphérique d'un véhicule lent évoluant sur la voie du centre (Fig. 4). Sur cette figure, les « états » sont matérialisés par des carrés (éléments ponctuels, nommés E_i) et les « phases d'activité » par des flèches (matérialisant la durée dans le temps nommés P_i).

Cette chronique se caractérise par 6 états (le 6e correspond à un retour à une situation plus standard et n'est pas présenté ici) délimitant 5 phases d'activité. Elle se compose de deux parties, des images extraites de la vidéo (colonne gauche) et un ensemble de courbes (colonne droite). Les images extraites de la vidéo correspondent aux 5 états identifiés dans le cadre de cette chronique, qui sont également matérialisés sous la forme de lignes verticales superposées à l'ensemble des courbes. Ces courbes représentent ici (de haut en bas) l'état des pédales d'accélérateur et de frein, l'angle volant, la vitesse du véhicule, la position latérale dans la voie, et le clignotant. Cet ensemble de courbes permet d'appréhender l'évolution

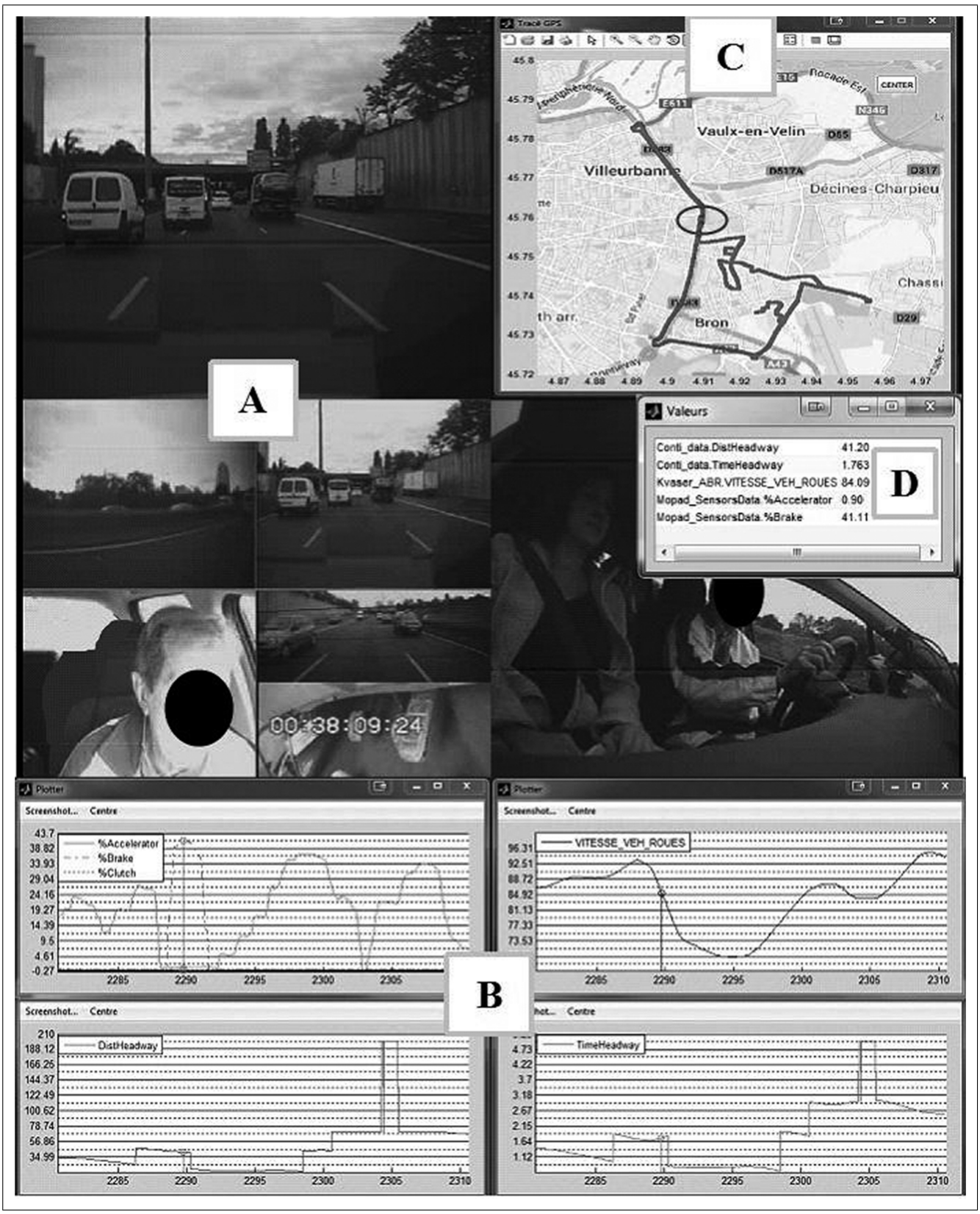

Fig. 3 Exemple de visualisation d'une phase de conduite sur le périphérique. (A-Vues caméras ; B-Courbes ; C-Position GPS ; D-Valeurs instantanées de certains paramètres)

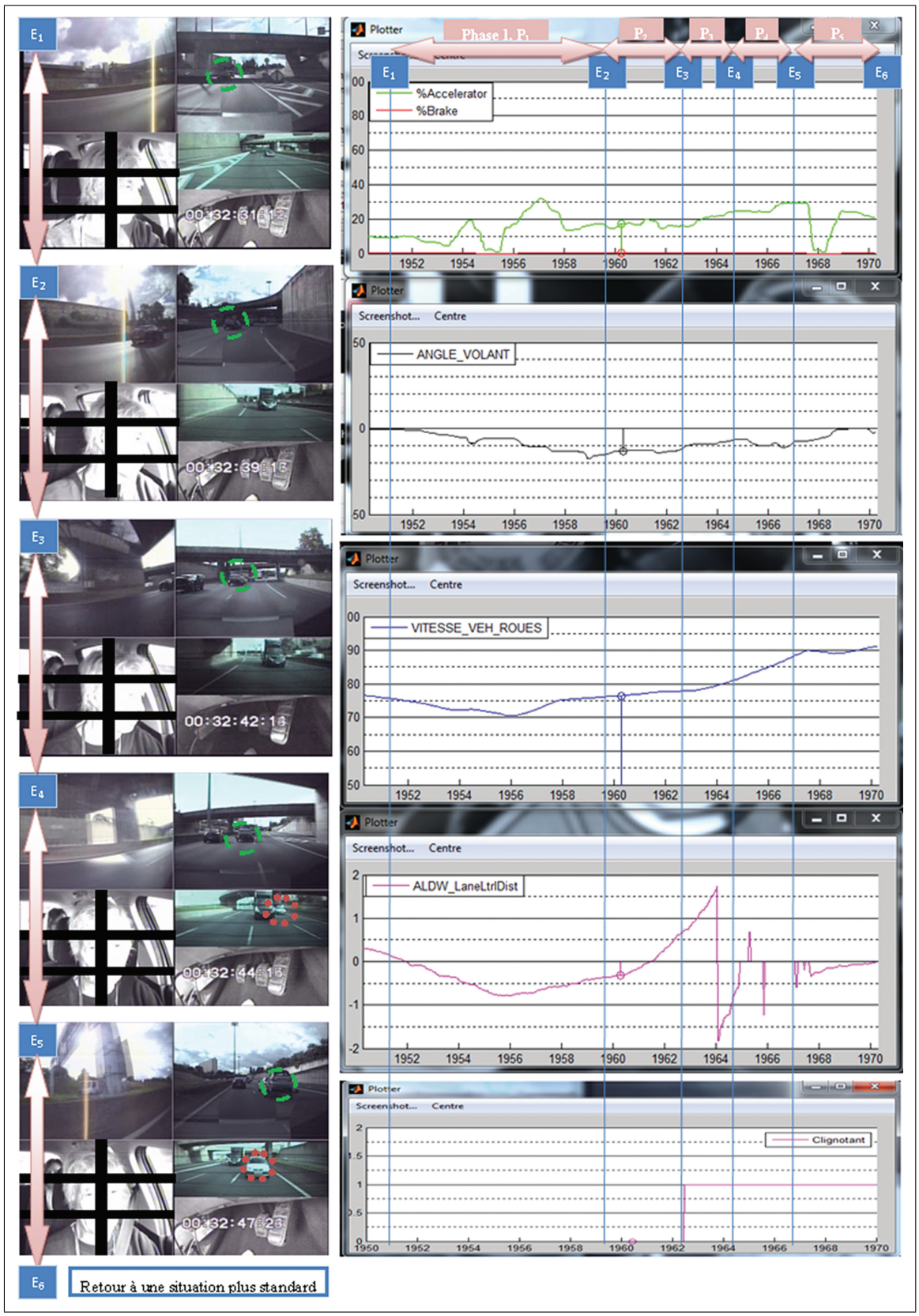

Fig. 4 Chronique en situation de dépassement sur le périphérique

temporelle de ces différents paramètres tout au long du scénario. Au-delà de ces paramètres, cela permet également de rendre compte de l'activité dynamique « située » du conducteur (ex : actions sur les pédales ou le volant) et des effets produits sur cette activité (ex : vitesse du véhicule ou position sur la voie).

Pour cette chronique, les états correspondent (i) à l'identification d'un véhicule tractant une remorque et circulant à faible allure devant le véhicule du participant, (ii) au moment où le conducteur prend la décision de dépasser par la gauche (ce qui imposera un double changement de voie), (iii) au moment du signalement de cette intention par l'enclenchement du clignotant gauche, (iv) à la réalisation de la manœuvre de changement de voie de la droite vers celle du centre, concomitante avec le démasquage d'un véhicule arrivant à l'arrière (rapidement) sur la voie de gauche, (v) au second changement de voie du centre vers la voie de gauche avec le véhicule arrière démasqué très proche du véhicule de notre conducteur. Le scénario dure une vingtaine de seconde.

À partir de ce repérage des états, nous pouvons alors 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 tandis qu'un un camion se situe plus loin derrière nous, sur notre voie.
- *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 = 1 964, 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 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 s'engage sur la voie de gauche afin de dépasser le véhicule lent (visible sur les courbes 3 et 4, même si le décrochement au repère T = 1 966 est moins marqué que le précédent du fait de marquages au sol moins bien détectés par le capteur). Notre conducteur est resté sur la 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 en 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.

En complément de ces éléments factuels, nous pouvons aussi analyser les jugements émis par le participant durant l'entretien d'explicitation. Cela permet d'éviter les biais d'interprétation de l'analyste et de connaître plus en détail les raisonnements mis en œuvre par le conducteur, en fonction de sa conscience de la situation. Les différentes dimensions investiguées 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 (Fig. 5). 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

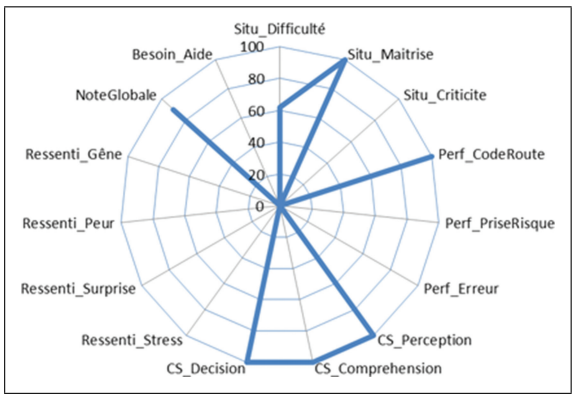

Fig. 5 Autoévaluation de la situation par le conducteur

regard de l'ensemble de ces jugements d'autoévaluation 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.

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 intervéhiculaire dans le cadre d'une traversée de voie opposée dans une intersection, négligence d'un usager se trouvant dans l'angle mort), de contexte conduite ou manœuvre implémentée par les conducteurs (tourner à gauche en ville, dépassement sur le périphérique etc.), 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 d'identifier des marqueurs objectifs ou patterns qui peuvent ensuite être 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 scénarii jugés homogènes au regard de certains critères d'analyse issus de l'approche descendante), et des paramètres mesurés sur le véhicule qui servent de support initial à l'approche ascendante (par exemple, l'utilisation 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.

Résultats préliminaires

Résultats descriptifs

Nous avons collecté des données de conduite sur près de 2 100 kilomètres qui correspondent à près de 60 heures. Au total, nous avons enregistré près de 1 300 franchissements d'intersections, 380 franchissements de rond-point, au moins 300 situations de changements de voies et 140 insertions sur le périphérique. De plus, ce sont plus de 150 heures d'entretiens qui ont été réalisées auprès de nos participants permettant de recueillir les auto-évaluations sur plus de 1 400 situations. Parmi toutes les situations rencontrées dans notre parcours expérimental pour l'ensemble de nos participants, nous nous focaliserons ici sur les plus « signifiantes » en termes de difficultés rencontrées par les conducteurs et/ou d'erreurs commises par ceux-ci. Dans un deuxième temps, nous classifierons ces situations en termes de contexte de conduite.

Identification des difficultés rencontrées par les conducteurs âgés

À ce stade d'analyse, une situation est dite « signifiante » si elle revêt une difficulté pour le participant ou si elle présente un certain degré de risque (potentiel ou effectif), notamment du fait d'un comportement inadapté, voire d'une erreur de conduite.

Pour les identifier, nous avons combiné les points de vue (i) de la monitrice, (ii) de l'analyste, et (iii) du participant en se basant sur des indicateurs objectivables. Le tableau 3 recense un ensemble de 265 situations de conduite observées durant cette expérimentation et jugées « à difficulté » d'après nos différents indicateurs, au stade actuel de nos analyses.

Au total, une intervention de la monitrice a été nécessaire dans le véhicule dans 92 cas (verbales + commandes + quasi-interventions, soit 35 % des situations présentées ici). En synthèse, sur les 76 participants reçus, 28 n'ont reçu aucune intervention, et 48 ont reçu au moins une intervention, soit plus de 60 % de l'échantillon. Parmi ces interventions, la majeure partie d'entre elles n'ont nécessité qu'une intervention verbale (ex. pour lever un doute du participant, prévenir ou avertir d'un danger) pour que le ou la participant(e) corrige sa conduite. Ces interventions verbales seules concernent 28 des participants (15 femmes et 13 hommes) et on dénombre de 1 à 6 occurrences. Il est également à noter que dans plus d'une vingtaine de cas, une intervention directement sur les commandes du véhicule a été nécessaire pour maintenir la sécurité. Cela concerne 13 participants (10 hommes et 3 femmes) et leur nombre s'étend de 1 à 4 occurrences. Ces interventions commandes ont souvent été précédées d'interventions verbales qui

ne sont pas comptabilisées dans le tableau 3. Enfin une trentaine de cas nous ont été reportés par la monitrice comme situations problématiques (difficulté éprouvée dans la phase de conduite) ou manœuvres dangereuses ayant malgré tout pu se dérouler sans son intervention. Vingt-neuf participants sont concernés (21 hommes et 8 femmes) avec 1 à 2 occurrences par participant.

Du côté de l'analyste, un ratio équivalent de situations est présenté dans le tableau 3. La catégorie erreur/défaut de maîtrise est constituée vis-à-vis du non-respect du code de la route ou d'une mauvaise gestion d'une situation. Les manifestations d'autrui à l'égard de notre conducteur, qui regroupent un coup de klaxon, un appel de phare, un dépassement « agressif » ou encore un geste de mécontentement d'un piéton. Cette catégorie comprend notamment 3 scénarios qui présentent deux de ces manifestations et constitue un ensemble de repères d'un comportement de nos conducteurs perçu comme entropique ou inadéquat par les autres usagers. La catégorie compréhension des règles de priorités et de l'infrastructure regroupe généralement des ralentissements en approche d'intersections prioritaires ou une difficulté à gérer la présence de plusieurs véhicules dans un carrefour, typiquement en situation de tourner à gauche. Des difficultés nettes en matière de maintien du véhicule dans la voie ont également été identifiées. Enfin, les interactions critiques avec des usagers vulnérables impliquent majoritairement des piétons, en sortie d'intersections ou en ligne droite.

La phase de traitement des auto-jugements et avis exprimés (ou non) des participants sur les différentes situations recensées ci-dessus ayant tout juste démarré, cette catégorie (*indicateurs participant*) n'est pas exhaustive à ce jour. Toutefois, au regard des données issues de l'entretien d'explicitation que nous avons déjà traitées, il apparaît qu'un certain nombre d'indicateurs permettent d'identifier et de qualifier des difficultés de conduite rencontrées par nos participants durant la réalisation de l'itinéraire. Ces difficultés peuvent avoir été exprimées en termes de criticité situationnelle, d'un caractère dangereux ou risqué d'une manœuvre, d'une erreur commise ou encore d'un sentiment de maîtrise imparfaite de la situation. Cela a pu être évoqué, soit spontanément en début d'entretien d'explicitation, soit en revoyant la situation sur la vidéo. D'autre part, même si cela n'est pas verbalisé, certaines attitudes peuvent constituer d'autres indicateurs à prendre en compte, tels que des commentaires spontanés (enregistrés pendant la conduite), des postures, des hochements de tête, ou certaines mimiques. Autant de dimensions révélatrices de difficultés rencontrées par le conducteur, et permettant d'identifier les besoins en assistance de cette population âgée. Au vu de la quantité de données disponibles restant encore à traiter, le Tableau 3 sera amené à s'étoffer au fil de nos analyses.

Une fois les difficultés et erreurs de conduite recensées, il apparaît pertinent de mieux les cerner en termes de contexte routier, de manœuvres dans lesquels elles ont été observées.

Tableau 3 Répartition des 265 situations identifiées

Toutes situations (N = 265)	**effectif**	**%**
Indicateurs Moniteur	123	46 %
Interventions verbales *(ex : conseils ou recommandations d'actions)*	58	22 %
Interventions commandes *(ex : saisie du volant, appui sur le frein)*	21	8 %
Quasi interventions *(ex : la monitrice est prête à appuyer sur le frein)*	13	5 %
Commentaires au retour *(débriefing aux analystes)*	31	12 %
Indicateurs Analyste	117	44 %
Erreurs/Défauts de maîtrise	28	11 %
Manifestations de la part d'autrui	24	9 %
Danger/Risque	22	8 %
Compréhension des règles de priorité/lecture de l'infrastructure	18	7 %
Problèmes de contrôle latéral	11	4 %
Interactions critiques avec des usagers vulnérables	9	3 %
Réactions urgence	5	2 %
Indicateurs Participant	25	9 %
Difficultés/Défauts de maîtrise/Erreurs	12	5 %
Manœuvres de récupération	7	3 %
Doutes sur l'infrastructure et/ou les règles de priorité	4	2 %
Distraction/inattention	2	1 %

Contextualisation des difficultés rencontrées par les conducteurs âgés

À partir de l'éclairage de la section précédente, 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 (Tableau 4).

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 priorités 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 50 km/h.

Tableau 4 Contextes de survenue de difficultés ou erreurs de conduite

Toutes situations (N = 265)	parts des effectifs	en %
Urbain	155	58 %
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 %

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 changement de voies pour le suivi de direction ou de dépassement, ainsi que le passage à proximité de zones d'interactions tels 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 % restants, 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 périurbain 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 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.

Discussion et perspectives : vers des fonctions de monitorage

Nous avons présenté dans la partie « Méthodologie pour l'observation écologique de l'activité de conduite », les moyens techniques et méthodologiques mis en œuvre pour observer et enregistrer l'activité réelle des conducteurs âgés. Conduire un véhicule non familier dans un contexte expérimental peut provoquer un stress chez des conducteurs âgés et induire une dégradation des performances observées [38]. La phase de prise en main du véhicule vise à minimiser cet effet. Le rôle de guidage de la monitrice et sa supervision la moins interventionniste possible y contribuent également. Les échanges avec les participants au cours de l'entretien nous offrent un retour précis sur la gêne éventuelle occasionnée par la conduite de notre véhicule, permettant de pondérer certaines observations. De plus, la finesse des analyses rendue possible par la diversité des paramètres de conduite mesurés à l'aide du véhicule instrumenté nous semble une plus-value importante.

Comme l'illustre la partie « Traitements des données », la combinaison de données objectives et subjectives permet d'analyser finement l'activité de conduite pour les situations problèmes identifiées. Il est notamment primordial de disposer du point de vue du conducteur concernant les différents scénarios analysés afin de cerner précisément la façon dont ce dernier a appréhendé chaque situation, les éléments pris en compte (et par déduction ceux qui ont éventuellement été omis) et les raisonnements appliqués pour la prise de décision. Les paramètres en provenance du véhicule permettent alors de caractériser l'opérationnalisation de ces raisonnements par le biais des commandes et d'en mesurer les effets sur la gestion du véhicule au sein de la circulation. Cette complémentarité offre des possibilités d'analyses au niveau opérationnel (à partir des mesures d'actions sur les commandes du véhicule) mais aussi et surtout au niveau tactique (les raisonnements complexes engagés dans une phase de conduite).

Les conducteurs âgés rencontrés dans le cadre cette expérimentation ne sauraient évidemment représenter la diversité de cette population. La base du volontariat amenuise les chances de rencontrer des personnes âgées vraiment très peu à l'aise au volant Les expérimentations ayant lieu en matinée réduit également la probabilité de rencontrer des personnes provenant de zones rurales plus reculées. Néanmoins, les exemples d'illustrations proposés dans les sections « Traitements des données » et « Identification des difficultés rencontrées par les conducteurs âgés » de cet article attestent que le matériau nécessaire à la réalisation de nos objectifs d'analyse est à présent disponible. L'existence de réelles difficultés ainsi que d'erreurs de conduite a été mise en exergue. Elles ont été exprimées par les conducteurs eux-mêmes ou relevées par les analystes assistés de la monitrice.

La catégorisation des difficultés et/ou des erreurs, telle qu'elle est proposée dans la section « Résultats préliminaires », permet d'identifier des besoins en assistance de ce groupe de conducteurs. En outre, dans le prolongement de cette classification, les avis des participants collectés durant les entretiens d'explicitation ont aussi permis de cibler un certain nombre d'aides à la conduite qu'ils jugent particulièrement utiles pour eux. Elles concernent notamment, (i) la régulation de vitesse et de distances de suivi, (ii) l'aide à la décision dans les situations d'intersection, notamment pour estimer le créneau disponible dans les manœuvres de tourner à gauche, (iii) l'aide au changement de voie et/ou à l'insertion sur voies rapides, pour mieux se représenter le trafic avoisinant (présence de véhicule, vitesse, distance, créneaux d'interactions disponibles), (iv) l'accès facilité aux informations de directions, ou à la signalisation verticale (ex : limitation de vitesse sur le tronçon courant, zone de travaux, etc.) et horizontale (ex : pour mieux comprendre l'infrastructure et savoir où s'y positionner). De surcroît, les participants ont exprimé un intérêt très prononcé pour certaines d'entre elles. Ceci corrobore à nouveau le bien-fondé de notre démarche et permet, en outre, d'espérer une bonne acceptabilité de ces futures assistances, sous réserve qu'elles soient bien adaptées à leurs besoins spécifiques.

Les premiers résultats de la section « Résultats préliminaires » ciblent les solutions techniques (les fonctions d'assistances) les plus pertinentes à mettre en œuvre pour soutenir les âgés au volant. À un niveau contextuel, on note que les intersections en milieu urbain et périurbain sont les plus représentées (91 cas soit plus du tiers du total). Les manœuvres de changements de voies dans lesquelles nous intégrons les insertions sur voies rapides sont également

nombreuses, et ce dans tous les contextes routiers avec au total 42 situations (soit plus 15 % des situations identifiées). Les ronds-points sont également identifiés comme des infrastructures où surviennent un nombre conséquent d'erreurs. L'analyse détaillée de ces situations, en l'état actuel son avancement, nous encourage à penser que l'amélioration de la conscience de la situation des conducteurs âgés est une des clés pour la facilitation de leur mobilité et l'augmentation de leur sécurité. Pour ce faire, de nombreux dispositifs existent d'ores et déjà et pourraient offrir un support à la perception de certaines informations de l'environnement routier telles que la limitation de vitesse sur le tronçon courant, la présence de véhicules dans le voisinage, la détection de véhicules en approche dans un flux de circulation dans lequel on doit s'insérer, etc. Au niveau de la compréhension des règles de l'infrastructure, des dispositifs d'aide à l'anticipation des aménagements à venir sur un parcours sont envisageables dans une évolution des systèmes de navigation actuels. L'aide à l'appréciation de la distance (et/ou du temps) disponible entre deux véhicules ou la détection d'un véhicule dans l'angle mort sont également en développement chez les équipementiers. Ce type d'aide soutiendrait le conducteur pour maintenir une distance de sécurité, changer de voie, s'insérer ou effectuer un tournant à gauche en toute sécurité. Au niveau de l'aide à l'action, ou plutôt la coaction, de nombreux dispositifs d'automatisation partielle de la composante opérationnelle de conduite sont d'ores et déjà disponibles.

Au regard de ces premiers résultats, il s'agira de poursuivre nos efforts d'analyse fine (*cf.* élaboration de *chroniques d'activité*) puis de modélisation de l'activité (*cf.* constitution de *classes de scénarios*). Cela va nécessiter, en premier lieu, une investigation en profondeur des 265 situations recensées dans la partie « Résultats préliminaires ». L'enjeu sera de procéder à une analyse systématique des comportements de conduite en situation, à des fins d'évaluation de la performance de conduite mesurée. À cette fin, une segmentation du parcours expérimental est en cours. Ces traitements informatiques permettent, à partir des données GPS enregistrées durant la collecte, de repositionner le véhicule sur une base de données cartographique enrichie de différents « tronçons d'intérêt », eux-mêmes scindés en « zones » (inspirées du formalisme des schémas de conduite [14]) et d'analyser ainsi l'activité « située » des conducteurs.

Au-delà de l'identification de besoins en assistance des conducteurs âgés, et de solutions techniques potentielles, le réel défi consiste à identifier quand et comment ces dernières doivent venir en aide au conducteur. Notre démarche va donc se poursuivre vers la conception de fonctions de monitorage visant à diagnostiquer en temps réel, un besoin contextualisé en assistance. Ceci repose sur la capacité à distinguer une activité normale ou « *nominale* » d'un conducteur âgé au volant, d'une activité révélatrice de difficultés voire d'une erreur de conduite. Dans cette optique, le corpus de données hors des situations problématiques va être exploité afin de modéliser l'activité « nominale » de nos conducteurs. À partir du corpus de situations problèmes et grâce aux cycles d'approche descendante/ascendante, nous identifierons des indicateurs comportementaux permettant de juger de l'adéquation des comportements, et des marqueurs situationnels permettant d'apprécier la criticité de la situation. Dans un second temps, ces indicateurs pourront alors être utilisés par des algorithmes ou fonctions de monitorage de l'activité. Ces fonctions reposent sur le formalisme des diagrammes état-transition. À partir des connaissances sur l'activité « nominale » et l'activité « à assister » du conducteur âgé, il sera alors possible de reconnaître une situation à risque et de déterminer le type d'assistance requis ainsi que la modalité à privilégier dans la coopération conducteur-assistance. Le monitorage, tel que nous le réalisons se présente ainsi comme un médiateur de la coopération conducteur-assistance. Il vise à offrir un reflet de l'activité humaine en tant que brique technologique (in fine embarquée dans le véhicule au même titre que des fonctions d'assistance) pour satisfaire le critère d'adaptabilité de l'assistance. Ce travail, actuellement en cours, va se poursuivre jusqu'à la fin de l'année 2015.

Remerciements

Ce travail est mené au Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports (LESCOT) de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR). Cette recherche est réalisée dans le cadre du projet SAFEMOVE, financé par l'ANR (référence ANR-11-VPTT-0001) et soutenu par le pôle de compétitivité Moveo. Ce projet a été élaboré en collaboration avec des équipes suédoises et regroupe des laboratoires et des industriels. Une collaboration avec le constructeur PSA Peugeot Citroën nous permet de décoder les données CAN du véhicule instrumenté.

Bibliographie

1. Sherman FT (2006) Driving, the Ultimate IADL. *Geriatrics 61*(10).
2. Salathé M (2014) securite-routiere.gouv.fr [en ligne]. Bilan annuel de la sécurité routière en France, [consulté le 20/02/2014]. Disponible sur : http://www.securite-routiere.gouv.fr/la-securite-routiere/l-observatoire-national-interministeriel-de-la-securite-routiere/bilans-annuels/bilan-annuel-de-la-securite-routiere-en-france.
3. Blanpain N, Chardon O (2010) Projections de population à l'horizon 2060 – Un tiers de la population âgé de plus de 60 ans. *Insee Première* 1320, disponible sur : http://www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1320/ip1320.pdf

4. Lyman S, Ferguson SA, Braver ER & Williams AF (2002) Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes: trends and projections. *Injury Prevention 8*(2): 116–120.
5. Étude Nationale Transport Durable (2008).
6. Langford J (2008) Usefulness of off-road screening tests to licensing authorities when assessing older driver fitness to drive. *Traffic injury prevention 9*(4): 328–335.
7. Preusser DF, Williams AF, Ferguson SA, Ulmer RG & Weinstein HB (1998) Fatal crash risk for older drivers at intersections. *Accident Analysis & Prevention 30*(2): 151–159.
8. Freeman J, Scott-Parker B, Wong I, & Haworth N (2012) Vulnerable road user groups: a review of younger drivers, motorcyclists and older drivers.*Vulnerable Groups & Inclusion* 3.
9. Boy GA (2011). *The Handbook of Human-Machine Interaction: A Human-Centered Design Approach*, Ashgate.
10. Bellet T, Hoc J-M, Boverie S, Boy GA (2011) From Human-Machine Interaction to Cooperation : towards the Integrated Copilot. In Kolski C. (Ed.), *Human-Computer Interaction in Transport*, Ashgate, pp. 129–156.
11. Michon JA (1985) A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In Evans L., Schwing R.C. (Eds), *Human behavior and traffic safety*, New York, Plenum Press, pp. 485–520.
12. Bailly B (2004) *Conscience de la situation des conducteurs : Aspects fondamentaux, méthodes, et application pour la formation des conducteurs*. (Doctoral dissertation, Université Lumière-Lyon II).
13. Bellet T, Bailly-Asuni B, Mayenobe P. Banet A (2009) A theoretical and methodological framework for studying and modelling drivers' mental representations, *Safety Science 47*: 1205–1221.
14. Bellet T (1998) *Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain : une application à la conduite automobile*. (Doctoral dissertation, Université Paris 5).
15. Ball K, Owsley C, Stalvey B, Roenker DL, Sloane ME, & Graves M (1998) Driving avoidance and functional impairment in older drivers. *Accident Analysis & Prevention 30*(3): 313–322.
16. Unsworth CA, Wells Y, Browning C, Thomas SA, & Kendig H (2007). To continue, modify or relinquish driving: findings from a longitudinal study of healthy ageing. *Gerontology 53*(6): 423–431.
17. Baldock MRJ, Mathias JL, McLean AJ, & Berndt A (2006) Self-regulation of driving and its relationship to driving ability among older adults. *Accident Analysis & Prevention 38*(5): 1038–1045.
18. Marottoli RA, de Leon CFM, Glass TA, Williams CS, Cooney LM, & Berkman LF (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.
19. Ragland DR, Satariano WA, & MacLeod KE (2005). Driving cessation and increased depressive symptoms. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences 60*(3): 399–403.
20. Davidse R (2006) Older drivers and ADAS. *IATSS Research 30*(1): 6–20.
21. Chin E, Marin-Lamellet C, Bellet T, Dukic T, Broberg T, Boverie S, Gurret F, Ojeda L, Stave C (2013). Potential benefit of driving assistance systems for senior drivers in critical situations. *Safemove Deliverable* D3.1.2, 43. Safemove Project
22. Dictionnaires le Robert (1993) Moniteur, Monitorage, Monitoring, *Le nouveau Petit Robert*, p. 1430.
23. Inagaki T (2007) Towards monitoring and modelling for situation-adaptive driver assist systems. In *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, Springer, London, pp. 43–57.
24. Davidse RJ (2007) *Assisting the older driver: intersection design and in-car devices to improve the safety of the older driver*. Doctoral thesis, Faculty of Behavioural and Social Sciences, University of Groningen.
25. Lallemant S, Paire-Ficout L, Chavoix C, Lafont S, Levin L, & Fabrigoule C (date?) Identification of the potential discrepancies of challenging situations/scénarios according to crash studies and drivers themselves. *Safemove Deliverable* D1.1, 28. Safemove project.
26. Blanchard RA, Myers AM, & Porter MM (2010) Correspondence between self-reported and objective measures of driving exposure and patterns in older drivers. *Accident Analysis & Prevention 42*(2): 523–529.
27. Wood JM, Lacherez PF, & Anstey KJ (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.
28. Anstey KJ, Wood J, Lord S, & Walker JG (2005) Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical psychology review 25*(1): 45–65.
29. Leplat J (1982) Le terrain, stimulant (ou obstacle) au développement de la psychologie cognitive ? *Cahiers de Psychologie Cognitive 2* : 115–130.
30. Vlahodimitrakou Z, Charlton JL, Langford J, Koppel S, Di Stefano M, Macdonald W, & Marshall S (2013) Development and evaluation of a Driving Observation Schedule (DOS) to study everyday driving performance of older drivers. *Accident Analysis & Prevention 61*: 253–260.
31. Hakamies-Blomqvist LE (1993) Fatal accidents of older drivers. *Accident Analysis & Prevention 25*(1): 19–27.
32. Vermersch P (1994) *L'entretien d'explicitation*. Paris, ESF éditeur.
33. Mollo V & Falzon P (2004) Auto-and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied ergonomics 35*(6): 531–540.
34. Endsley MR (1995) Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society 37*(1): 32–64.
35. Bellet T & 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 & Prevention 49*: 154–164.
36. Lafont S, Mintsa-Eya C, Coquillat A, Marie Dit Asse L, Chavoix C, Paire-Ficout L & Fabrigoule C (2014) *Safe Move: factors leading to a strong overestimation of cognitive performances in older drivers: first results from a cohort study in france*; ICAP symposium div13-s04: too old to drive? The role of self-abilities assessment, training programs and advanced driving assistance systems; 28th International Congress of Applied Psychology, Paris, July 2014.
37. Schank RC & Abelson RP (1977) *Scripts, Plans, Goals, and Understanding: An Inquiry Into Human Knowledge Structures*, Artificial Intelligence Series.
38. Lundberg C & Hakamies-Blomqvist L (2003) Driving tests with older patients: effect of unfamiliar versus familiar vehicle. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour 6*(3) : 163–173.