



HAL
open science

Outils et méthodes pour l'étude des interactions véhicules autonomes - opérateurs / passagers humains en situations critiques

Sergio Alberto Rodriguez Florez, Stéphane Espié, Lydie Nouveliere, Samir
Bouaziz

► To cite this version:

Sergio Alberto Rodriguez Florez, Stéphane Espié, Lydie Nouveliere, Samir Bouaziz. Outils et méthodes pour l'étude des interactions véhicules autonomes - opérateurs / passagers humains en situations critiques. [Rapport de recherche] SATIE; Paris Saclay; IFFSTAR; Université d'Evry; IBISC. 2018. hal-01762976

HAL Id: hal-01762976

<https://hal.science/hal-01762976>

Submitted on 10 Apr 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.

Outils et méthodes pour l'étude des interactions véhicules autonomes - opérateurs / passagers humains en situations critiques

10 avril 2018

Auteurs :

Sergio Rodríguez^{1,4}, Stéphane Espié³, Lydie Nouvelière^{2,5}, Samir Bouaziz^{1,4}

¹Université Paris-Sud / Univ. Paris-Saclay ²Université d'Evry ³IFSTTAR

⁴Laboratoire SATIE UMR CNRS 8029 ⁵Laboratoire IBISC EA 4526

Participants à l'initiative scientifique :

Abdelhafid Elouardi Bastien Vincke Bruno Larnaudie Flavien Delgehier Isabelle Vin
Naïma Ait Oufroukh Dalil Ichalal Vincent Vigneron Saïd Mammar

1 Contexte

La recherche menée dans le domaine des Systèmes de Transport Intelligent (ITS) est motivée par le haut taux d'accidents routiers, faisant de ce dernier un problème de santé publique. Les systèmes d'aide à la conduite (ADAS) et plus récemment les véhicules autonomes (VA) sont le résultat de la recherche dans ce domaine. Ces systèmes visent à réduire significativement les accidents graves tout en minimisant sensiblement l'intervention humaine. Toutefois, dans ce cadre, les interactions entre le conducteur et les automates apparaissent comme un sujet clé dans la gestion des situations critiques.

La compréhension et la gestion des interactions occupants/véhicule [Smith et al. 2015] représentent un verrou scientifique majeur dans le but de garantir la sécurité non seulement des passagers mais aussi des autres usagers de la route (dont les vulnérables). Les niveaux d'automatisation des modes de conduite comportent, selon le standard SAE des phases intermédiaires (niveaux 1-4) durant lesquelles le conducteur, responsable légalement in-fine, est considéré comme déléguant à des automatismes de conduite tout ou partie de son activité de conduite. Cette délégalation de compétences s'opère dans un contexte de trafic pouvant être mixte (la flotte des véhicules circulant sur l'infrastructure n'étant pas homogène en termes de niveaux d'automatisation). Durant les dix dernières années [Shaikh et al. 2013], de nombreux efforts ont été réalisés pour étudier cette problématique, souvent structurée et simplifiée autour de trois cas d'étude isolés : la reprise du contrôle [Walch et al. 2015], le retour d'information véhicule/conducteur et la modélisation de la tâche de conduite (conduite et surveillance du système d'assistance).

Une question cruciale posée par la délégalation concerne les épisodes où un automatisme du système infère qu'il n'est pas en mesure de gérer la situation (complexe et souvent critique) à laquelle il fait face. Ces situations critiques, sur les véhicules en général, sont des situations accidentogènes, et de par leur nature, difficiles à étudier (celles-ci sont rares, **non reproductibles** et par définition dangereuses).

Outre la question de la reprise de contrôle sur demande du « système » se pose la question des situations de « stress dynamique » provoqué par la réalisation par un automatisme d'une manœuvre d'urgence (évitement, freinage, réaction à une défaillance d'un organe de commande ou d'un capteur...) alors que le conducteur (et / ou les passagers) n'est pas attentif et ne prévoit pas cette dernière. Pour être optimale, cette phase de reprise de contrôle nécessite que le conducteur ait un niveau attentionnel suffisant, qu'il soit conscient de la complexité de la situation à laquelle il est confronté, et qu'il soit capable de gérer celle-ci [Walch et al. 2015]. Dans le cas contraire, les occupants du véhicule peuvent être alors corporellement déséquilibrés et peuvent soit tenter de reprendre le contrôle, soit tenter de se raccrocher aux éléments qui sont à proximité (le volant notamment). Dans ce type de scénario le conducteur peut subir une confusion, effectuer une reprise erronée, ou adopter un comportement dit « automatique » non adapté. La question est importante car la notion de délégation suggère implicitement un « détachement » de l'activité de conduite devenue déléguée. Différents travaux concernant le lien entre le niveau d'activité cérébrale et l'utilisation du régulateur de vitesse en sont de très bons exemples. Par conséquent, les pré-requis nécessaires à une reprise de contrôle optimale sont très probablement difficiles à garantir. En effet, déléguer, c'est se libérer d'une activité et donc dégager du temps et des ressources qui peuvent être ré-alloués à une activité autre, ou permettre le repos. Ces deux comportements naturels, pouvant entraîner de l'inattention et/ou de l'hypovigilance, posent des questions fondamentales de sécurité lors des phases de reprises de contrôle.

L'étude des interactions conducteur / véhicule et des IHM (Interfaces Homme / Machine) est réalisée le plus souvent dans des situations « nominales » (i.e. non critiques), de plus en plus sur des simulateurs de conduite. Ces outils, qui sont pertinents pour de nombreuses situations, sont limités dès lors que les aspects dynamiques deviennent importants (limite des capacités à reproduire la dynamique, même avec des plateformes permettant des amplitudes de mouvement de l'ordre de 10m en X-Y, du fait du nécessaire retour à vitesse 0 de la plate-forme après la sollicitation), et plus fondamentalement du fait de l'absence objective de risque (ce qui est souvent vu comme une qualité des simulateurs se révèle être un défaut dès lors qu'il s'agit d'étudier des situations « à risques »).

Dans le cadre de cette initiative scientifique, nous abordons le concept de situation critique sous la perspective d'une situation de conduite à dynamique relativement élevée (vitesse du véhicule de l'ordre de 70 km/h) pendant laquelle s'effectue une manœuvre d'urgence. Les interactions entre les occupants (i.e. conducteur et passagers) d'un véhicule et les systèmes automatisés peuvent engendrer des situations critiques, telles que :

- (i) l'intervention d'un occupant, potentiellement différent du conducteur, face à une manœuvre automatique qu'il peut juger dangereuse car surpris par la manœuvre, en agissant soit par réaction réflexe, soit par incompréhension de la manœuvre automatisée (ajout d'un couple au volant, incitation du passager à faire faire une action au conducteur, ...),
- (ii) la reprise du contrôle du véhicule par un conducteur ayant une conscience partielle de la situation de conduite du fait d'une inattention ou d'une absence de vigilance - cette reprise peut se traduire par un geste de conduite inapproprié, contre-productif vis-à-vis de la dynamique du véhicule (sur-contrôle notamment),
- (iii) la perturbation de l'équilibre du conducteur (déstabilisation) par les actions d'un système automatique qui réalise une manœuvre d'urgence. Ce type de situation peut avoir lieu dans un contexte de conduite déléguée où le "conducteur" du véhicule effectue des tâches différentes de celles de la conduite. Les actions du conducteur en situation de déséquilibre (reprise d'appui sur le volant par exemple) peuvent conduire à des pertes de contrôle,
- (iv) dans le contexte militaire, différent de ceux évoqués précédemment, la perturbation provoquée sur un véhicule blindé par une "bombe de bord de voie" pose la question du comportement des occupants du véhicule, ces derniers stressés par le choc sont souvent tentés de sortir du véhicule (et donc de sa protection).

Aussi bien en France qu'à l'international peu d'acteurs dans le domaine de la recherche adressent ac-

tuellement la problématique exposée (étude des situations critiques en automobile, dans le cadre de la conduite autonome) puisqu'elle nécessite des compétences méthodologiques et des moyens très spécifiques pour la mise en œuvre et la validation expérimentale de contributions innovantes. En France par exemple, nous pouvons citer les contributions les plus récentes du laboratoire Heudiasyc CNRS/UTC proposant et validant sur un véhicule expérimental des stratégies de conduite partagée (situations nominale) entre le conducteur et les automatismes du véhicule, ou les travaux de l'IFSTTAR-IBISC sur les interactions conducteur/véhicule autonome (Projets ANR PARTAGE et européen HAVEiT). Des actions similaires sont menées au sein de l'IRT-SystemX et de VEDECOM [Vedecom 2015] afin d'évaluer les impacts sociétaux et l'acceptabilité de la conduite déléguée par des moyens de simulation. En ce qui concerne les constructeurs automobiles et les équipementiers on trouve aussi de nombreuses études portant sur les interactions conducteur/véhicule autonome. Aux USA, le Crash Imminent Safety (CrIS) University Transportation Center à l'université de l'Ohio est actuellement l'un des acteurs positionnés dans l'étude expérimentale de situations sous « stress dynamique » pour l'amélioration de fonctions d'assistance, le développement des systèmes de vérification, l'identification des modèles d'avertissement adaptés au profil du conducteur et la formalisation d'indicateurs nécessaires à la réglementation. En Europe, le laboratoire KIT (Karlsruhe Institute of Technology), l'un de principaux acteurs de la recherche pour les voitures autonomes, annonce en 2017 son intérêt pour l'étude d'un système intelligent d'interaction conducteur/voiture autonome¹.

2 État de l'art

Dans la littérature, [Lu et al. 2016] confirme l'importance des interactions entre deux entités : le conducteur et l'automate. Dans cette étude, ces interactions ont été hiérarchisées, identifiées et structurées sous le concept de transitions. Par la suite, celles-ci ont été classées suivant l'entité initiant la transition. Ce cadre méthodologique permet une meilleure compréhension de la complexité globale du problème et facilite la caractérisation des situations critiques que nous visons dans cette proposition. La caractérisation des interactions entre les occupants et l'automate restent très mal connues.

Tel que nous l'avons évoqué précédemment, les comportements du conducteur et des passagers d'un véhicule face aux interventions des systèmes de type ADAS/VA représentent aujourd'hui un verrou scientifique et technologique déterminant dans l'évolution des systèmes de transports intelligents (ITS). Motivés par cet enjeu sociétal, certains scénarios ont été déjà étudiés dans la littérature en conditions de simulation. Par exemple, dans une expérience récente menée par [Navarro et al. 2016], l'impact des transitions d'une conduite déléguée avec un automate a été étudié, prenant en charge le contrôle latéral du véhicule. L'automate employé nécessitait une reprise de contrôle du véhicule de la part du conducteur afin d'éviter des obstacles sur sa trajectoire. L'étude a non seulement conclu par l'observation d'une baisse significative de la capacité du conducteur à effectuer une manœuvre d'évitement mais aussi un changement important dans la stratégie visuelle du conducteur.

Dans [Lu et al. 2017], l'impact des interactions dans un contexte de conduite déléguée a été étudié, en se focalisant sur l'estimation du délai de reprise de conscience de la situation de conduite des conducteurs. Cette étude, menée sur des séquences vidéos de synthèse, a été conclue en confirmant la capacité d'un conducteur à inférer très rapidement la distribution spatiale des autres usagers de la route et plus tardivement la dynamique de la scène sur un sous-ensemble de son intérêt (temps de convergence d'environ 20 sec). Certes, les résultats à l'issue de ces études des comportements adoptés par les conducteurs en interaction avec des systèmes ADAS/VA confirment la pertinence de l'enjeu exprimé, mais ceux-ci sont difficilement extrapolables vers un contexte de situation critique tel que défini précédemment.

¹Smart System for the Interaction between Driver and Autonomous Car – Enhancing Acceptance of Future Highly Automated Vehicles – “PAKoS” BMBF Project Started

Ainsi l'étude de ces situations critiques, en situation réelle (sur piste) et avec une dynamique réelle, et la constitution de bases de données de référence incluant des données sur la dynamique du véhicule mais aussi sur le comportement du conducteur (et/ou de ses passagers) et son état physiologique, s'avère aujourd'hui nécessaire. Ceci permettra d'avoir des retombés, à court et moyen terme, qui impactent les développements actuels et futurs de contre-mesures de sécurité (ITS, Interface Homme-Machine, ADAS...). Dans le cadre de ce projet de recherche, nous focaliserons nos efforts en vue de :

- (i) estimer la capacité du conducteur à devenir conscient de la situation de conduite après avoir été perturbé - La caractérisation du délai de prise de conscience de la situation de conduite d'un conducteur "sous stress" permet d'intégrer au sein de l'automate des actions adaptatives face aux fortes contraintes temporelles imposées par la dynamique du véhicule.
- (ii) estimer la capacité du conducteur à reprendre le contrôle - Observer et estimer un tel indicateur permet l'évolution des mécanismes décisionnels de l'automate avant d'engager toute transition en minimisant le risque d'engendrer une situation critique.
- (iii) améliorer les interactions entre les ADAS/VA et les occupants d'un véhicule faisant ainsi faire émerger la notion d'acceptabilité du système automatisé - Un moyen capable de démontrer expérimentalement les bienfaits de la gestion d'un automate face à une situation critique et de les confronter aux actions qui auraient été prises par un conducteur. (iv) caractériser les interactions ADAS/VA et les occupants dans l'objectif d'une prise de contrôle facilitant les transitions Homme-Machine (conception d'ADAS pour la reprise contrôle)

Pour répondre à l'étude des situations critiques telles que définies et à ses enjeux, nous proposons la mise au point d'un véhicule prototype dédié et le développement d'un *framework* logiciel, ayant vocation à effectuer des rejeux de situations de conduite critiques sur piste, ceci permettant des études pluridisciplinaire de ces situations. Les principaux objectifs sont :

- (i) la capacité à placer des conducteurs (au comportement altéré ou non) face à des situations demandant ou suscitant une réponse de la part de ces derniers : la conception et l'implantation d'un prototype dédié à l'exécution d'une situation critique contrôlée constitue un verrou technologique majeur. Cet objectif impose la gestion de la dynamique rapide du véhicule (contraintes du temps réel) afin d'induire une immersion réaliste aux occupants. Le système proposé est, à notre connaissance, unique en terme de moyens expérimentaux actuels au niveau européen,
- (ii) l'aptitude à assurer l'intégrité des occupants du véhicule (conducteur et passagers), mais aussi du véhicule et de l'environnement d'expérimentation : la sûreté de fonctionnement du prototype est un élément essentiel et critique. En effet, les phénomènes que l'on cherche à observer sont fortement perturbés si les utilisateurs ont une disposition méfiante envers la plate-forme. Le prototype devra être pourvu des mécanismes de sécurité prévoyant toute action possible à l'intérieur de l'habitacle qui puisse nuire ou mettre en risque l'exécution du scénario de test ainsi que l'intégrité physique des occupants. De même, en cas d'une défaillance partielle du système robotisé, le véhicule devra être capable d'exécuter une procédure d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité,
- (iii) l'observation des réponses du conducteur et/ou des passagers et l'évolution de son/leur(s) état physiologique : un système de mesure à l'intérieur de l'habitacle devra permettre la caractérisation du comportement des occupants (conducteur/passagers) et de son évolution. Une synchronisation précise des mesures associée à la perception extéroceptive et proprioceptive du véhicule assurera la mise en corrélation des phénomènes à étudier. Nous nous intéresserons dans un premier temps à la direction du regard, l'appui sur le siège, la pression et les actions exercées sur le volant en plus des mesures physiologiques "classiques" (EEG, ECG, EOG, EMG),
- (iv) la faculté à catégoriser les situations de conduite en vue de s'assurer que la situation de conduite mise en évidence est bien une situation critique. Il s'agit ici de s'assurer que les scénarios utilisés pour les études visées relèvent bien de situations critiques et non de situations de conduite, certes à risque, mais qui ne permettraient pas de satisfaire les objectifs visés par les situations d'urgence. Le

fait de respecter l'objectif (i) en recherchant des situations critiques procurera implicitement de tester plusieurs scénarios dans des conditions de conduite variées, lesquels pourront être classés par niveau de risque (par exemple en utilisant des fonctions de risque) ou par niveau de criticité.

3 Caractère innovant et les verrous

Les verrous scientifiques et technologiques découlant de cette initiative sont :

La notion de partage des tâches de la conduite entre le système d'aide à la conduite et le conducteur a été développée sous plusieurs formes durant la dernière décennie (PREDIT ARCoS 2003, EU HAVEit 2009, PREDIT-ANR PARTAGE 2009, ANR ABV 2009). ARCoS a commencé par définir plusieurs niveaux de contrôles du véhicule en fonction de l'implication du conducteur (modes informatif, limite, régulé, automatisé), PARTAGE a permis d'associer la composante cognitive à ces modes ARCoS (modes instrumenté, suggestif, ...). Les projets HAVEit et ABV ont intégré un curseur d'interaction entre un copilote automatique et le conducteur pour atteindre la notion de véhicule complètement automatisé. C'est en 2016, finalement, qu'apparaît une nouvelle classification (Déclaration d'Amsterdam, avril 2016) définissant en Europe, 6 niveaux d'autonomies d'un véhicule. Dans notre proposition, la situation de conduite critique peut intervenir à l'interface de n'importe quel niveau d'autonomie du véhicule ; dans ce cas de figure, la compréhension et la gestion des transitions, notamment d'une conduite automatisée vers une reprise en main du conducteur, apparaissent comme essentielles dans la conception des véhicules autonomes. Un tel prototype permettrait d'étudier en détail ce qu'il se passe dans le véhicule quand une situation devient critique, et sur la base des observations réalisées, de concevoir et mettre au point des contre-mesures de sécurité routière (dispositifs, formation, ...). Le prototype a vocation à autoriser l'étude de situations courantes (e.g. comportement altéré du conducteur) ou futures (e.g. interactions « conducteur »-automate et question du partage de contrôle « sous stress »).

D'un point de vue opérationnel, le prototype doit être capable de reproduire des trajectoires prédéterminées (sortie de voies, manœuvres d'évitement avec une forte dynamique) et de garantir un arrêt du véhicule « en sécurité » quelle que soit l'action du « conducteur » (Il s'agit alors d'être capable de filtrer les actions « inappropriées » et d'imposer une trajectoire « de sécurité » jusqu'à l'arrêt). Là aussi, la théorie du contrôle de véhicule est peu abordée dans la littérature pour le cas de situations critiques : l'arrêt d'urgence, par exemple, a été maintes fois traité allant même jusqu'à la commercialisation de certains systèmes, toujours pour soit arrêter le véhicule en situation d'urgence, soit pour ralentir au maximum sur un obstacle inévitable. Pour autant, l'action réflexe du conducteur, son inattention, ou bien le déséquilibre des passagers dans ce contexte d'urgence peuvent engendrer des actions sur le volant ou autre et créer d'autres situations d'urgence non traitées. Des efforts non négligeables restent donc à faire en termes de théorie du contrôle de véhicule, ceci pour une plus grande réactivité du système lors d'une situation critique, pour une prise de décision efficace et optimale menant le véhicule à être mis en sécurité dans l'environnement dans lequel il évolue.

4 Valeur ajoutée

A l'issue de ces actions, la principale retombée attendue est la validation, la valorisation et la mise en exploitation d'une plate-forme expérimentale originale au niveau français et européen, capable de réaliser des tests de situations critiques sur piste d'essais. En effet, aussi bien en France qu'à l'international, peu d'acteurs dans le domaine de la recherche adressent actuellement la problématique exposée (étude des situations critiques dans l'automobile) puisqu'elle nécessite des compétences méthodologiques et des moyens très spécifiques pour la mise en œuvre et la validation expérimentale de contributions innovantes. Aux USA, le Crash Imminent Safety (CrIS) University Transportation

Center à l'université de l'Ohio est actuellement l'un des acteurs positionnés sur l'étude expérimentale de situations sous « stress dynamique » pour l'amélioration de fonctions d'assistance, le développement des systèmes de vérification, l'identification des modèles d'avertissement adaptés au profil du conducteur et la formalisation d'indicateurs nécessaires à la réglementation.

Les données issues des expériences serviront à des études pluridisciplinaires (d'ergonomie par exemple) faisant appel à des professionnels de spécialité STAPS (psychologues, ergonomes), neuro-sciences, mais aussi Intelligence Artificielle. Ces études déboucheront sur des contributions dans les domaines des ITS, de la sécurité des déplacements et dans des problématiques militaires comme l'étude de l'impact de bombes de bord de voie, contributions qui bénéficierons des avancées dans le domaine de l'apprentissage profond.

Références

- [Smith et al. 2015] Smith, B. W., & Svensson, J. (2015). Automated and Autonomous Driving : Regulation under Uncertainty.
- [Shaikh et al. 2013] Shaikh, S., & Krishnan, P. (2013). A framework for analysing driver interactions with semi-autonomous vehicles. arXiv preprint arXiv :1301.0043.
- [Walch et al. 2015] Walch, M., Lange, K., Baumann, M., & Weber, M. (2015, September). Autonomous driving : investigating the feasibility of car-driver handover assistance. In Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (pp. 11-18). ACM.
- [Vedecom 2015] Rapports d'activités 2014-2015.
- [Lu et al. 2016] Lu, Z., Happee, R., Cabrall, C. D., Kyriakidis, M., & de Winter, J. C. (2016). Human factors of transitions in automated driving : A general framework and literature survey. Transportation research part F : traffic psychology and behaviour, 43, 183-198.
- [Navarro et al. 2016] Navarro, J., François, M., & Mars, F. (2016). Obstacle avoidance under automated steering : Impact on driving and gaze behaviours. Transportation research part F : traffic psychology and behaviour, 43, 315-324
- [Lu et al. 2017] Lu, Z., Coster, X., & de Winter, J. (2017). How much time do drivers need to obtain situation awareness ? A laboratory-based study of automated driving. Applied ergonomics, 60, 293-304.