
Étude comparative de véhicules semi-autonomes en conduite réelle : effet du tableau de bord sur les émotions et la charge mentale du conducteur

Noé Monsaingeon - Axelle Mouginé - Loïc Caroux

CLLE – Université de Toulouse, 5 allée Antonio Machado, 31058 Toulouse Cedex 9

noe.monsaingeon@univ-tlse2.fr

Sabine Langlois

Renault – 1, avenue du Golf, 78084 Guyancourt

sabine.langlois@renault.com

Céline Lemerrier

CLLE – Université de Toulouse, 5 allée Antonio Machado, 31058 Toulouse Cedex 9

celine.lemerrier@univ-tlse2.fr

Catégorie de soumission : communication courte

RÉSUMÉ

Les véhicules semi-autonomes sont caractérisés par la présence de plusieurs niveaux d'automatisation, ce qui augmente le risque de confusion. Les tableaux de bord au design écologique et utilisant plusieurs modalités sensorielles pourraient faciliter la collaboration entre l'humain et le véhicule. Cette étude propose de comparer deux véhicules dont un possède un tableau de bord classique (Volvo XC60) et l'autre un affichage écologique et multimodal (Tesla modèle X). Vingt participants ont testé les véhicules sur route et ont ensuite répondu à des questionnaires sur leur charge mentale, leurs émotions et l'utilisabilité perçue du véhicule et de leur tableau de bord. Les résultats ont mis en avant un état de confusion après le test pour les deux véhicules. La Tesla a été évaluée comme provoquant des émotions négatives de peur et était physiquement plus exigeante que la Volvo. Le caractère nouveau du tableau de bord est discuté comme cause des émotions négatives pour la Tesla. L'exigence physique pourrait avoir pour cause les boutons d'activation et de désactivation des aides à la conduite avancées.

MOTS-CLÉS

Conduite réelle, voitures autonomes, Interface humain-machine, Émotions, Charge mentale

1 INTRODUCTION

Les voitures entièrement autonomes devraient entrer dans le parc automobile dans les prochaines décennies. Celles-ci seront de niveau d'automatisation 5 selon la norme SAE (2018) et définies comme ne nécessitant aucune action humaine pour être opérées. Avant cette automatisation totale, les véhicules seront graduellement automatisés, équipés d'aides à la conduite (ADAS) en nombre et technicité croissants. La tâche de conduite va progressivement évoluer, de même que les processus cognitifs engagés par le conducteur. Les ressources attentionnelles, aujourd'hui fortement exploitées par la conduite manuelle, seront redirigées vers d'autres activités à bord (par ex. loisirs, conversation avec les autres passagers) dans les périodes où le système prendra en charge l'activité de conduite, c'est-à-dire pour les systèmes de niveaux 3 et 4.

La conscience qu'a le conducteur de la situation lui permet d'identifier, de comprendre et d'anticiper le comportement des autres conducteurs, de son propre véhicule ou des piétons (Endsley & Kiris, 1995). Celle-ci doit être suffisante pour lui permettre d'assurer sa sécurité et celle des autres usagers de la route. Les véhicules possédant des ADAS de niveaux 2, tel que le maintien dans la voie associé au régulateur de vitesse adaptatif, doivent informer efficacement le conducteur des systèmes actifs ou inactifs afin d'éviter les confusions. Un risque majeur pour la sécurité survient lorsque les systèmes ne sont pas désactivés par le conducteur mais par le véhicule, forçant une reprise de contrôle rapide.

C'est aux Interfaces Humain-Machine (IHM) que revient le rôle de présenter les informations nécessaires et suffisantes pour informer le conducteur de l'état de son véhicule. La saillance, l'effort nécessaire pour accéder aux informations, ainsi que la valeur et les attentes attribuées par le conducteur à ces informations visuelles sont déterminantes dans leurs consultations (Horrey, Wickens, & Consalus, 2006). Certains véhicules, tels que la Tesla Model X, possèdent des IHM innovantes qui suivent un design d'interface écologique. L'objectif de ces IHM est de présenter des informations simples dont la perception est censée induire les actions possibles, et uniquement celles-ci, réduisant ainsi la charge mentale et améliorant les performances (Bennett & Flach, 2019). Les tableaux de bords, déjà riches en informations visuelles, pourraient gagner à être associés à d'autres modalités sensorielles comme le son ou l'haptique pour efficacement transmettre de l'information. En effet, les travaux de Ho et al. (2017) mettent en évidence qu'un lien entre la vision, l'ouïe et le toucher existe au sein de l'attention. Ceci implique qu'utiliser des stimulations auditives et tactiles dans une IHM permettrait de compléter les stimulations visuelles et de contribuer à une communication efficace entre le véhicule et son conducteur.

Les interfaces dont le design est écologique et multimodal ne sont pas courantes dans l'automobile. Utiliser correctement une interface nouvelle peut nécessiter un temps d'adaptation qui pourrait se traduire par des émotions négatives. L'objectif de cette étude était de comparer l'impact d'une interface écologique et multimodale avec une interface classique dans des véhicules semi-autonomes sur les émotions et la charge mentale du conducteur. La première hypothèse testée était que l'interface écologique et multimodale provoquerait plus d'émotions négatives que l'interface classique à cause de son caractère inhabituel, chez des conducteurs découvrant le véhicule. La seconde hypothèse testée était que l'interface écologique et multimodale provoquerait une charge mentale plus faible que l'interface classique grâce à sa simplicité et à la pertinence des informations présentées.

2 METHODE

Une analyse ergonomique a été réalisée sur 6 véhicules selon les critères de Bastien et Scapin (1993) afin de sélectionner deux candidats comparables en termes d'ADAS mais suffisamment différents en termes d'IHM. La Tesla Model X a été retenue, ainsi que la Volvo XC60. Toutes deux possèdent des ADAS de maintien du véhicule dans la voie et d'adaptation automatique de la vitesse, regroupées sous le terme « Assistance au Pilotage » (AP), et correspondant au niveau 2 de la SAE. Vingt volontaires ont été recrutés (19 hommes), âgés de 27 à 59 ans ($M = 40,8$; $ET = 8,5$) et ont conduit l'une des deux voitures. Les volontaires ont eu leurs permis à l'âge de 19 ans en moyenne et n'avaient jamais conduit le véhicule testé.

Après une période de familiarisation de 10 de minutes, les conducteurs devaient réaliser un parcours d'une quarantaine de minutes, passant par des environnements péri-urbains et des voies rapides. Ils pouvaient conduire manuellement ou à l'aide de l'AP lorsqu'ils le voulaient et que toutes les conditions de sécurité étaient réunies. Durant le trajet, 16 questions relatives à la consultation du Tableau De Bord (TDB) étaient posées. Le temps nécessaire aux participants pour répondre aux questions était mesuré, ainsi que le comportement visuel durant la conduite. Ces deux mesures ne seront pas abordées durant cette présentation. Avant et après la phase de conduite, les participants ont rempli le questionnaire de valence émotionnelle « Positive and Negative Affect Schedule » (PANAS ; Watson, Clark & Tellegen, 1988). Ce questionnaire est composé de 20 items sous forme d'échelle de Likert en 5 points. Dix items appartiennent à la dimension positive et dix items

appartiennent à la dimension négative. Après la conduite, un questionnaire d'utilisabilité ainsi que l'échelle de charge mentale « Raw Task Load index » (RTLX ; Cegarra & Morgado, 2009) étaient complétés. Ce questionnaire décompose la charge mentale en six dimensions pour lesquelles les participants devaient se positionner sur une échelle en 10 points allant de « faible » à « élevé ». Enfin, les témoignages des conducteurs vis à vis des véhicules étaient également recueillis à l'aide d'entretiens semi-directifs.

3 RESULTATS

L'analyse ergonomique des TDB a mis en avant le fait que les deux véhicules présentaient les informations de la même manière quelle que soit l'expertise des conducteurs par rapport aux AP. Bien que la Tesla guide moins bien les utilisateurs de son TDB à cause d'informations textuelles présentées trop furtivement, elle informait clairement le conducteur si la fonction d'AP était activable ou non en affichant les lignes détectées ainsi qu'une icône. La Volvo était discrète quant aux conséquences des actions du conducteur, contrairement à la Tesla qui proposait des feed-back sonores, haptiques et visuelles lors des activations et désactivation de AP.

Les réponses aux items appartenant à la dimension positive du PANAS ont été additionnées pour obtenir le score total des émotions positives ressenties pendant le test. La même procédure a été réalisée pour les items appartenant à la dimension négative. Un test t de student a été réalisé sur chacune de ces deux dimensions en prenant comme facteur le véhicule. Les résultats n'ont pas montré d'effet du véhicule sur les émotions positives comme négatives ressenties pendant la période de test ($p > .1$). Des comparaisons de moyenne sur les scores items par items ont été conduites pour évaluer l'effet du facteur véhicule sur différents aspects des émotions ressenties par le conducteur. Ces analyses mettent en avant un effet tendanciel du véhicule sur les réponses à l'item « Effrayant » ($F(1,18)=3.47$; $p=.08$). La Tesla ($M=1.65$; $ET=1.05$) serait jugée comme provoquant sensiblement plus d'émotions négatives de « peur » que la Volvo ($M=1.25$; $ET=0.45$). Un effet tendanciel a également été observé sur les réponses à l'item « Fierté » ($F(1,18)=3.65$; $p=.07$). Les utilisateurs de la Tesla ($M=3.55$; $ET=1.09$) jugeaient ressentir plus d'émotions positives de fierté que les conducteurs de la Volvo ($M=2.7$; $ET=1.05$). L'impact du moment de la passation du questionnaire a également été étudié (avant vs. après utilisation du véhicule). Pour les dimensions positives comme négatives, l'analyse de variance ANOVA n'a pas révélé d'effet du moment. De la même manière que pour le facteur véhicule, chaque item a été étudié séparément. Les analyses ANOVA ont révélés un effet principal du moment sur l'item « Perturbé » ($F(1,18)=9.45$; $p=.007$), suggérant que les participants terminent le test ($M=2.15$; $ET=.88$) avec plus d'émotions négatives de type « confusion » qu'avant le test ($M=1.5$; $ET=.61$), quel que soit le véhicule testé. Aucun effet d'interaction n'a été constaté entre les facteurs moment et véhicule.

Concernant les évaluations au questionnaire d'utilisabilité, les deux véhicules ont eu des scores relativement haut (plus de 65/100) et étaient donc jugés comme acceptables. Bien que la Tesla était évaluée comme moins utilisable (Catégorie D) que la Volvo (Catégorie C), les scores des deux groupes ne différaient pas significativement.

La charge mentale, représentée par le score total du RTLX, n'était pas significativement différente entre les deux voitures testées. Une analyse de chaque dimension composant l'échelle a mis en lumière le fait que la Tesla ($M=44$; $ET=22.7$) avait une exigence physique significativement plus importante que la Volvo ($M=22$; $ET=16.36$) ($U(18)=-.349$; $p=.029$).

4 DISCUSSION

Les réponses au PANAS montrent que l'utilisation des deux véhicules a provoqué chez les conducteurs des émotions négatives de l'ordre de la confusion. L'analyse ergonomique des TDB révèle qu'aucun des deux véhicules ne s'intéresse à l'expertise du conducteur en matière d'AP et présente les mêmes informations à tous les utilisateurs. Or, maîtriser l'utilisation des ADAS demande un

apprentissage susceptible d'expliquer cet état de confusion (Stapel, Mullakkal-Babu, & Happee, 2019). Ensuite, les résultats du PANAS tendent à présenter la Tesla comme provoquant plus d'émotions négatives liées à la peur que la Volvo. L'IHM de la Tesla utilise plusieurs modalités sensorielles et une interface écologique, alors que la Volvo utilise un affichage traditionnel. Le caractère inhabituel de l'affichage de la Tesla peut avoir un rôle dans ces émotions négatives, les utilisateurs ne trouvant pas l'information sous la forme qu'ils ont l'habitude de la trouver. Une exploration des temps de réponses aux questions posées en roulage devrait permettre de savoir dans quelle mesure l'accès aux informations diffère entre les deux véhicules. L'exigence physique, rapportée comme plus élevée chez les utilisateurs de la Tesla, peut également être expliquée par l'IHM. Les commandes d'activations et de désactivation des ADAS ne sont pas les mêmes entre les deux véhicules. La Volvo demande d'utiliser des boutons sur le volant alors que la Tesla demande d'utiliser un commodo situé derrière le volant, pouvant être confondu avec celui des phares. Le caractère excentré du commodo par rapport aux mains du conducteur peut être la cause d'une demande physique plus importante pour ce véhicule. Les techniques d'oculométrie apporteraient des données complémentaires permettant d'évaluer la consultation du TDB. De telles données permettraient d'évaluer les IHM les plus efficaces et sécurisées. Aussi, un facteur important à prendre en compte pour les prochaines études est la familiarisation avec le véhicule et avec l'AP. Un certain apprentissage est sans doute nécessaire pour arriver à utiliser au mieux l'interface proposée par la Tesla (Stapel et al., 2019).

En somme, cette étude exploratoire constitue une porte d'entrée pour l'étude des facteurs humains en conduite semi-autonome dans un environnement naturel. Elle met l'accent sur l'impact que peuvent avoir les TDB non conventionnels sur les émotions et la charge mentale du conducteur. L'interface écologique semble a priori apporter des résultats mitigés sur les émotions du conducteur. Cependant l'impact de ce type de design reste à étudier au travers de données quantitatives et après une période de familiarisation.

5 BIBLIOGRAPHIE

- Bastien, J. M. C., & Scapin, D. L. (1993). *Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces* (Doctoral dissertation, Inria).
- Bennett, K. B., & Flach, J. (2019). Ecological Interface Design: Thirty-Plus Years of Refinement, Progress, and Potential. *Human Factors*, 61(4), 513–525. <https://doi.org/10.1177/0018720819835990>
- Cegarra, J., & Morgado, N. (2009, September). Étude des propriétés de la version francophone du NASATLX. In *Communication présentée à la cinquième édition du colloque de psychologie ergonomique (Epique)* (pp. 28-30).
- Endsley, M. R., & Kiris, E. O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human Factors*, 37(2), 381–394. <https://doi.org/10.1518/001872095779064555>
- Ho, C., & Spence, C. (2017). *The Multisensory Driver : Implications for Ergonomic Car Interface Design*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315555423>
- Horrey, W. J., Wickens, C. D., & Consalus, K. P. (2006). Modeling drivers' visual attention allocation while interacting with in-vehicle technologies. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 12(2), 67–78. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.12.2.67>
- SAE (2016) Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. J3016 SEPT2016. SAE International, Warrendale
- Stapel, J., Mullakkal-Babu, F. A., & Happee, R. (2019). Automated driving reduces perceived workload, but monitoring causes higher cognitive load than manual driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 590–605. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.11.006>
- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *Journal of personality and social psychology*, 54(6), 1063.