

Comparaison de concepts d'interactions homme-véhicule pour soutenir le conducteur en conduite conditionnellement automatisée

Comparison of Human-Vehicle Interactions Concepts to Support the Driver in Conditionally Automated Driving

Marine Capallera
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
marine.capallera@hes-so.ch

Jean-Pierre Bresciani
jean-pierre.bresciani@unifr.ch
University of Fribourg, Department of
Neuroscience
Fribourg, Switzerland
Grenoble-Alpes University
Grenoble, France

Quentin Meteier
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
quentin.meteier@hes-so.ch

Leonardo Angelini
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
leonardo.angelini@hes-so.ch

Omar Abou Khaled
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
omar.aboukhaled@hes-so.ch

Elena Mugellini
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
elena.mugellini@hes-so.ch

ABSTRACT

Current driver assistance systems are gradually changing the role of the driver. For some levels of automation, the driver's active role becomes that of a supervisor. This change can lead to a reduction of the driver's situation awareness but also to a higher cognitive load during the manual takeover. This is why it is important to design interactions that support the driver in this supervisory task. This paper proposes to use the driver's seat and a tablet to transmit information to the driver about his environment during autonomous driving phases and thus support him in his supervision task. A first experiment validated the use of vibrations in the seat to transmit information. A second experiment compared this concept with the use of icons to transmit the same information. The results show that the use of these concepts has an impact on situation awareness.

RÉSUMÉ

Les actuelles assistances à la conduite modifient progressivement le rôle du conducteur. Pour certains niveaux d'automatisation, son rôle actif devient alors celui de superviseur. Ce changement peut entraîner une réduction de la compréhension de la situation mais également une charge cognitive plus élevée lors de la reprise de contrôle manuelle. C'est pourquoi il est important de concevoir

des interactions permettant de soutenir le conducteur dans cette tâche. Cet article propose d'utiliser le siège du conducteur et une tablette pour transmettre des informations au conducteur relatives à son environnement pendant les phases de conduite autonome et ainsi l'accompagner dans sa tâche de supervision. Une première expérience a permis de valider l'utilisation de vibrations dans le siège pour transmettre des informations. Une seconde expérience compare ce concept avec l'envoi d'icônes pour transmettre ces mêmes informations. Les résultats montrent que l'utilisation de ces concepts a un impact sur la conscience de la situation.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **Interaction techniques.**

KEYWORDS

Semi-Autonomous Driving, Human-Vehicle Interaction (HVI), Situation Awareness, Peripheral Interaction, Seat, Tablet

MOTS CLÉS

Conduite semi-autonome, Interaction Humain-Véhicule (IHV), Conscience de la situation, Interaction périphérique, Siège, Tablette

ACM Reference Format:

Marine Capallera, Jean-Pierre Bresciani, Quentin Meteier, Leonardo Angelini, Omar Abou Khaled, and Elena Mugellini. 2022. Comparaison de concepts d'interactions homme-véhicule pour soutenir le conducteur en conduite conditionnellement automatisée: Comparison of Human-Vehicle Interactions Concepts to Support the Driver in Conditionally Automated Driving. In *IHM '22: Proceedings of the 33rd Conference on l'Interaction Humain-Machine (IHM '22)*, April 5–8, 2022, Namur, Belgium. ACM, New York, NY, USA, 11 pages. <https://doi.org/10.1145/3500866.3516374>

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.

IHM '22, April 5–8, 2022, Namur, Belgium

© 2022 Association for Computing Machinery.

ACM ISBN 978-1-4503-9189-4/22/04...\$15.00

<https://doi.org/10.1145/3500866.3516374>

1 INTRODUCTION

L'un des principaux objectifs de la conduite autonome est d'augmenter la sécurité des usagers de la route (environ 90% des accidents sont dus à une erreur humaine [2]) et le confort du conducteur. Elle devrait également réduire le trafic et son impact sur l'environnement. L'utilisation de nombreux capteurs et d'algorithmes permet de développer de plus en plus d'aides à la conduite telles que les systèmes de régulation de vitesse adaptatifs pouvant contrôler à la fois la vitesse et la distance du véhicule par rapport à la voiture qui le précède. Aujourd'hui, ces différentes technologies d'assistance permettent de libérer le conducteur des tâches de contrôle longitudinal et latéral dans certaines conditions de conduite. Toutefois, le conducteur doit garder les mains sur le volant et surveiller en permanence son environnement ainsi que le comportement du système d'assistance. Ces voitures sont aussi appelées véhicules de niveau 2 suivant la classification SAE [12]. Cette taxonomie permet de définir le niveau d'automatisation des véhicules allant du niveau 0 (aucune automatisation) au niveau 5 (véhicule complètement autonome). Actuellement, des véhicules de niveau 3 sont en cours de développement pour effectuer cette transition. Ces véhicules peuvent décharger les conducteurs des tâches de conduite sans qu'ils aient besoin de surveiller le comportement du système. Cependant, ils doivent être en mesure de reprendre le contrôle du véhicule à la demande du système autonome si celui-ci ne peut pas gérer la situation.

Ce développement d'aides à la conduite tend à modifier le rôle du conducteur : d'acteur principal, il devient superviseur (véhicule de niveau 3). Le conducteur sera moins impliqué dans la conduite. Cependant, le manque d'implication active et la conduite hautement automatisée pourraient devenir problématiques en induisant une somnolence s'il n'y a aucune tâche secondaire associée [29]. Ainsi, si le système demande une reprise de contrôle, les conducteurs pourront être confrontés à une surcharge cognitive pour passer de la conduite autonome à la conduite manuelle car ils seront hors de la boucle de contrôle. Pour cette raison, il est important de concevoir des interactions humain-véhicule (IHV) pour que le conducteur reste conscient de son environnement et de l'état du véhicule pendant la conduite autonome tout en restant confiant envers le système.

Ainsi, la conception d'IHV fonctionnant à différents niveaux d'attention permettrait la création d'un tandem conducteur-véhicule qui partagerait les responsabilités pendant la conduite autonome comme deux compagnons plutôt que deux entités séparées. En effet, les recherches de Bakker sur le "continuum interaction-attention" [4] montrent l'efficacité des interactions périphériques afin d'informer les utilisateurs de leur environnement même s'ils sont engagés dans une autre tâche. Ce type d'interaction pourrait aider les conducteurs dans leur tâche de supervision (passive).

Dans cet article, nous proposons de transmettre des informations relatives à l'environnement du véhicule par des vibrations dans le siège et une application mobile sur tablette. Le but de ces interactions haptique et visuelle est de permettre au conducteur d'effectuer une tâche secondaire tout en conservant sa conscience de la situation et ainsi être capable d'effectuer une reprise de contrôle efficace si nécessaire. Nous présentons ici la conception, la validation et la mise en place de ces deux modalités d'interaction

mais également la comparaison de ces deux systèmes pour maintenir la conscience de la situation du conducteur. Après une brève revue de la littérature, l'article détaille la conception du siège haptique et de l'application mobile puis décrit la méthode utilisée pour évaluer ces deux systèmes et les comparer. L'article présente ensuite les résultats obtenus et leur analyse afin d'améliorer la conception du modèle.

2 ÉTAT DE L'ART

2.1 Interface haptique dans un véhicule

A ce jour, plusieurs études proposent de fournir des informations au conducteur par l'utilisation d'interactions haptiques dans le véhicule. Riener et al. [22] proposent de communiquer la consommation de CO₂ au conducteur grâce à une notification vibro-tactile subliminale dans l'assise du siège et la ceinture de sécurité. Cette interface permet de réduire les émissions de CO₂ d'environ 8%. Yusuf et al. [30] et Sonoda et al. [26] ont placé des bandes directement sur les poignets des conducteurs. Un moteur de vibration plat est fixé sur chaque bande. Les résultats de Yusuf et al. montrent que transmettre la direction de la voiture par anticipation dans les poignets permet d'augmenter la conscience de la situation du conducteur et de réduire à la fois les symptômes du mal des transports et la charge mentale. Quant à Sonoda et al., cette interaction vibrotactile fournit des informations spatiales sur la proximité du trafic devant eux et la méthode utilisée pour le dépasser (intention du véhicule). Ils démontrent qu'une telle interaction a des effets positifs sur la confiance du conducteur envers le système automatisé. Ji et al. [13] analysent la perception haptique dans le siège au travers de 4 expériences et proposent ainsi des recommandations pour cette interaction. Ils mettent en évidence plusieurs variables de conception telles que les intensités de vibrations appropriées (fréquences et amplitudes), le *pattern* de vibrations, la distance spatiale minimale entre les vibrations, leurs positionnements ainsi que leur direction. Schwalk et al. [25] étudient également l'impact de différents *patterns* tactiles sur leur reconnaissance, leur adéquation et la charge de travail. Leurs résultats montrent que l'utilisation d'un siège haptique semble appropriée pour fournir des informations cruciales. En effet, les participants présentaient de bons taux de reconnaissance, un des *patterns* évalués apparaissait comme intuitif pour la reprise de contrôle. De plus, cette interaction n'augmentait pas la charge mentale. Dans une autre étude, Grah et al. [10] explorent le potentiel d'un siège à forme changeante pour la détection d'obstacle. Les résultats montrent qu'un retour continu sur la position et l'angle de véhicules à l'arrière permet de percevoir la position de ces derniers mais aussi leur vitesse. Telpaz et al. [28] démontrent aussi l'impact positif d'un siège haptique fournissant des informations spatiales sur les véhicules en approche. Cette interface aide le conducteur lors des phases de reprise de contrôle du véhicule. Wonsuk et al. [7], quant à eux, comparent l'utilisation de l'ensemble du siège comme interface haptique à des interactions auditives et visuelles dans trois situations différentes. D'après leurs résultats, les interactions haptiques du siège ont donné de meilleurs résultats que les interfaces visuelles et auditives. Enfin, Kunze et al. [16] représentent l'incertitude du système autonome grâce à une combinaison de moteurs vibrants dans le siège et d'interfaces visuelles périphériques. Cette interface multimodale améliore les performances de reprise de contrôle,

réduit la charge mentale et le temps de sortie de route dans les situations critiques par rapport à un simple affichage numérique sur le tableau de bord.

2.2 Interface visuelle périphérique et design d'alerte

Lors des phases de conduite autonome, il est également nécessaire de maintenir le conducteur dans la boucle de contrôle même si son attention principale n'est pas portée sur la tâche de conduite. L'étude de Miller et al. [20] propose d'utiliser une tablette faciliter les reprises de contrôle. Pendant que les participants regardent un film sur le tablette, ils reçoivent la demande de reprise de contrôle directement sur cet écran. Cependant, cette interface ne communique aucune information concernant l'environnement du véhicule pendant la phase de conduite autonome. D'autres études proposent pour cela d'utiliser des interactions périphériques telles que des lumières ambiantes sur le pare-brise et les montants du véhicules [19] ou bien l'utilisation de la réalité augmentée [24]. Cependant, il est important de prendre en compte plusieurs considérations (choix des couleurs, intensités, emplacement, etc...). En effet, ces interactions ont principalement lieu dans le champ de vision périphérique du conducteur. Or, il est nécessaire de prendre en compte le fait que la vision périphérique présente une acuité et une vision des couleurs plus faibles que la vision fovéale [23] mais qu'elle est sensible au mouvement et plus précisément au mouvement horizontal (comparé au vertical) [8]. Gregory Anderson et al. [3] mettent en avant des indications pour l'utilisation de lumières comme alerte, principalement en environnement extérieur. Ils montrent que la couleur ambre demande de faire plus attention à la situation que la couleur jaune. La couleur rouge quant à elle, retranscrit une situation critique ou d'urgence. Enfin, le cycle de clignotement doit également représenter le niveau d'urgence à transmettre. Enfin, Annie W.Y. Ng et al. [21] analysent l'utilisation de différentes couleurs pour des alertes basiques telles qu'"alerte, prudence, danger, urgence, fatal, danger potentiel, sûr". Un danger fatal ou une urgence sont souvent associés à la couleur rouge tandis qu'un danger potentiel est caractérisé par la couleur orange. Le vert représente un état dit "normal".

2.3 Conclusion de l'état de l'art

D'après la définition des véhicules des niveaux 3, nous pouvons émettre l'hypothèse que le conducteur pourra retirer ses mains du volant et détourner son regard de la route. Les études récentes sur la modalité haptique montrent que l'utilisation d'un siège haptique pour transmettre des informations sur l'environnement semble prometteuse. De plus, les appareils personnels utilisés par le conducteur pour la réalisation de tâches non liées à la conduite représentent une nouvelle opportunité pour communiquer ces informations [6]. La conception d'interfaces multimodales peut également être explorée.

Cependant, les études avec les sièges haptiques se concentrent principalement sur le fait de transmettre la présence d'autres véhicules autour de la voiture en utilisant la partie dorsale du siège. C'est pourquoi l'une des contribution de cette article est de proposer d'utiliser tout le siège pour transmettre plusieurs informations relatives à l'environnement tout en prenant en compte les conditions

d'implémentation décrites ci-dessus. Le but est de montrer que l'assise du siège permet également de transmettre des informations variées relatives à son environnement et pas uniquement le trafic. De même, l'utilisation d'outils personnels (tablette ou smartphone) a encore été assez peu explorée alors que leur utilisation pourrait s'étendre [17]. C'est pourquoi il est important d'explorer l'utilisation de ce type d'interface tout en utilisant les bonnes pratiques de design (couleurs, mouvement...) décrites ci-dessus. Le but de cette interface est également d'augmenter la conscience de la situation du conducteur en utilisant son champs de vision et d'attention périphériques.

Ainsi, le siège haptique ou l'utilisation d'une tablette fourniront au conducteur une perception étendue et plus complète de son environnement tout en augmentant sa confiance envers le système. Pour cela, nous mettons en place un processus itératif orienté utilisateur pour développer et mettre en place ces deux types de modalité.

3 CONCEPTIONS

3.1 Siège haptique

3.1.1 Conception. Les véhicules modernes actuels sont équipés de nombreux capteurs tels que des caméra, radar, lidar et ultrasons. Ils permettent à la voiture de rester au centre de sa voie de manière autonome (systèmes de maintien dans la voie), mais aussi de réagir à son environnement (régulateur de vitesse adaptatif, freinage d'urgence, demande de reprise de contrôle...). Le concept présenté ici s'inspire des travaux de Telpaz et al. [28], Grah et al. [10] et Kunze et al. [16]. Le "mapping" est proposé en fonction des résultats de Capallera et al. [5] et détaillé ci-dessous. Le but est d'utiliser des stimuli haptiques dans le siège du conducteur afin de lui fournir une vision périphérique et étendue la plus complète.

L'objectif est de vérifier si l'utilisation de vibrations sur l'ensemble du siège (assise et dossier) permet au conducteur de comprendre son environnement en lui transmettant des informations spatialisées. Les informations fournies par ce concept représentent les capteurs de proximité du véhicule et les capteurs identifiant les lignes de marquage au sol. La figure 1 montre la correspondance entre les stimuli haptiques et l'environnement du véhicule. Les informations transmises sont :

- (1) L'emplacement d'un obstacle autour du véhicule (6 emplacements) - zones 1 à 6 (Figure 1)
- (2) L'état du marquage au sol (lignes gauche et droite) - zones 7 et 8 (Figure 1)

3.1.2 Description de l'expérience et évaluation du mapping. Le but de cette première expérience est de justifier et évaluer le *mapping* proposé ci-dessus. Pour cela, 12 participants (dont 3 femmes) ont été recrutés. La moyenne d'âge était de 27.25 ± 4.67 ans et ils ont annoncé parcourir 8716.66 ± 11530.58 km par an. Six des participants ont refait cette expérience 2 mois après leur premier essai afin d'évaluer la mémorisation et l'intuitivité des informations mappées.

Pour chaque stimulus, le participant devait appuyer sur une zone précise de l'écran tactile d'une tablette, la zone correspondant au stimulus perçu (voir l'image de droite sur la Figure 1). Tous les participants ont reçu le même nombre de stimuli par zone à savoir 3 stimuli par zone pendant la phase d'entraînement puis 8 stimuli par zone pendant la phase de test. L'ordre d'envoi des stimuli a

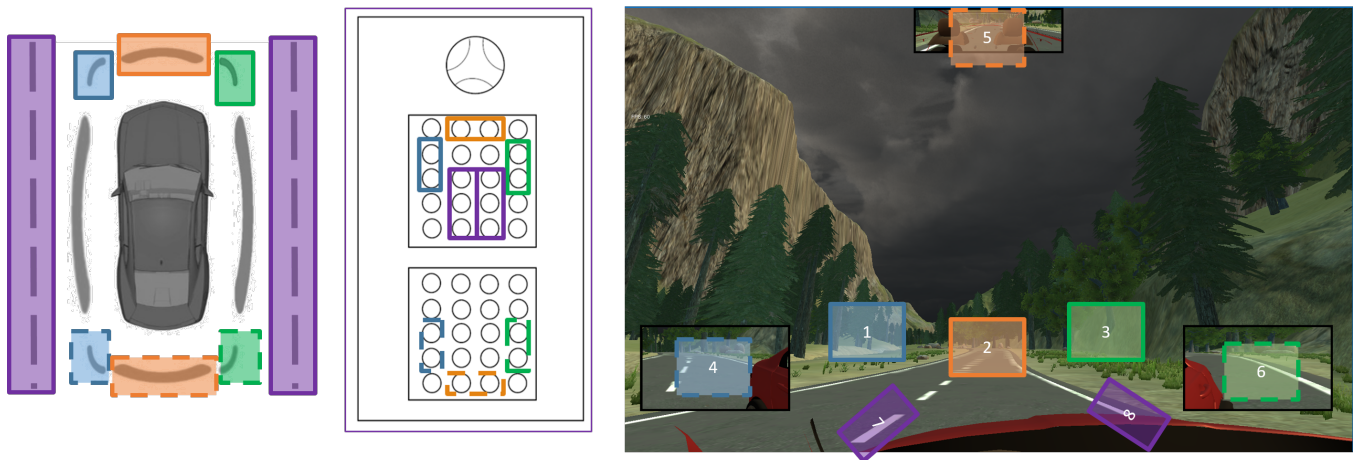


Figure 1: Mapping between the seat stimuli and vehicle environment

été généré aléatoirement pour chaque participant. Tous les stimuli ont été envoyés toutes les 5 secondes. Les données mesurées pour évaluer le concept sont l'exactitude des réponses et le temps de réaction des participants. Les participants ont également répondu au User Experience Questionnaire Short version (UEQ-S) [18] afin d'évaluer les qualités pragmatique et hédonique de l'interaction, en fonction de son attrait, de sa perspicacité, de son efficacité, de sa fiabilité, de sa stimulation et de sa nouveauté. L'analyse statistique a mis en avant des résultats positifs qui semblent prometteurs en termes d'utilisation de ce concept et du *mapping* évalué. En moyenne, les différentes zones sont correctement identifiées avec 91,66% de précision. Les zones 1 et 3 ont été mappées avec plus d'erreurs et de difficultés car souvent confondues avec les zones 7 et 8 (resp.). Quelques corrections ont été apportées suite à cette expérience : il a été nécessaire de modifier le type de stimulus utilisé pour les lignes au sol afin de le distinguer du stimulus utilisé pour la localisation des obstacles. En effet, les positions sont proches bien que dans les distances minimales précisées par [13] (8 cm d'écart au niveau de l'assise et 9 cm dans dossier). Ces corrections sont prises en compte dans les expériences qui suivent.

3.2 Application mobile

Le but de cette application est d'employer directement l'outil personnel que le conducteur utilise pour réaliser une autre tâche. Son rôle est de transmettre les mêmes informations décrites par [6], à savoir la présence d'obstacles mobiles ou fixes, l'état des lignes et de la route ainsi que des informations relatives à l'environnement. Cependant, ces dernières sont transmises sous forme d'icône (et non pas en écran partagé). Les icônes permettent de transmettre deux types d'information : le facteur limitant que rencontre le véhicule (météo, état de la route, obstacles...) et la sévérité de cette limitation (niveau 1 ou niveau 2).

3.2.1 Questionnaire. Les différentes recherches effectuées sur le développement d'interface intervenant sur l'attention périphérique

du conducteur ont pu mettre en avant plusieurs possibilités de design telle que l'association de couleurs, le clignotement ou bien le mouvement. C'est pourquoi nous avons d'abord réalisé un premier questionnaire en ligne proposant un large de choix de solutions possibles. Le but était d'évaluer différentes associations de couleur pour représenter la sévérité de la limitation (voir Figure 2) ainsi que différents mouvements et clignotement qui représentent un changement de sévérité. Les participants devaient classer les différentes propositions d'abord en terme de préférence puis en fonction de ce qui leurs paraissait le plus efficace. Par exemple : *"Laquelle de ces combinaisons de couleurs préférez-vous pour représenter un danger de niveau 1? / Laquelle de ces combinaisons de couleurs correspond le mieux à un avertissement de danger de niveau 1?"*. Ce choix était effectué pour les limitations de niveau 1 (danger léger) et de niveau 2 (danger moyen). Une sévérité de niveau 3 est considérée comme une demande de reprise de contrôle et n'est pas prise en considération dans cette étude. La structure du questionnaire est la suivante:

- Introduction et avertissement pour les personnes sensibles aux crises d'épilepsie
- Explication du contexte (voiture semi-autonome, limitation et sévérité) et du rôle de l'application
- Choix de la combinaison de couleurs pour sévérité de niveau 1
- Choix de la combinaison de couleurs pour sévérité de niveau 2
- Choix entre mouvement horizontal un glissement de l'icône de la droite vers la gauche puis de la gauche vers la droite (x2) sur environ 5 cm à droite de l'écran, clignotement "normal" (apparition/disparition de l'icône) et clignotement "couleur" (inversion de la couleur du fond et du contour) pour changement de sévérité
- Choix de la vitesse de clignotement "normal" pour changement de sévérité
- Choix de la vitesse de clignotement "couleur" pour changement de sévérité

- Choix de la vitesse de mouvement horizontal pour changement de sévérité
- Feedback

61 personnes (dont 13 femmes) ont répondu au questionnaire. La moyenne d'âge des répondants était de 31.6 ± 11.13 ans. Les choix qui ressortent de cette étude sont la couleur jaune pour le niveau 1 et orange pour le niveau 2, associées toutes deux au noir et au blanc (voir encadré gris sur Figure 2). Concernant le choix du type de mouvement, les participants préfèrent le clignotement par changement de couleur (voir Figure 3). Bien que le mouvement horizontal ne fasse pas partie des préférences, les participants semblent penser que ce type de mouvement pourrait être efficace pour attirer l'attention.

3.2.2 Implémentation et tests utilisateurs. Afin de départager les différentes solutions sélectionnées à partir du questionnaire décrit ci-dessus et finaliser le design de l'application, nous avons mis en place une expérience utilisateur pour que les participants puissent effectuer leurs choix dans des conditions plus proches de l'utilisation finale de l'application. L'expérience était réalisée dans un simulateur de conduite et les choix étaient présentés les uns à la suite des autres. Les participants devaient résoudre un sudoku pendant que le véhicule était en phase de conduite autonome. La procédure était la suivante:

- Accueil et présentation du contexte et de l'expérience
- Questionnaire démographique
- Évaluation des couleurs pour niveau 1
- Évaluation des couleurs pour niveau 2
- Évaluation vitesse clignotement "normal" (lent, médium, rapide)
- Évaluation vitesse clignotement "couleur"
- Évaluation vitesse mouvement horizontal
- Choix du mouvement avec sa vitesse associée
- Feedback

Huit participants ont réalisé ces tests utilisateurs. Les résultats de cette expérience ont permis de définir le design final de l'application, à savoir la combinaison jaune-noir pour une sévérité de niveau 1 (5 réponses), la combinaison orange-noir pour une sévérité de niveau 2 (6 réponses) (voir Figure 2) et le mouvement horizontal (5 réponses) à la vitesse lente (4 réponses).

3.3 Conception finale et hypothèses

Les deux études précédentes ont donc permis de mettre en place la conception finale des deux interfaces. Le *mapping* pour l'emplacement des vibrations est maintenu. Le type d'information sera transmis par des patterns différents. Les vibrations sont continues pour transmettre des informations liées aux obstacles. Elles sont discontinues pour transmettre l'état des lignes. La différence entre les sévérités sera mise en avant par une variation d'intensité des vibrations : l'intensité sera plus importante pour une sévérité de niveau 2. Ces vibrations seront implémentées grâce à l'utilisation d'une veste bHaptics installée sur le siège (voir Figure 4). Les patterns seront créés à l'aide de Bhaptis designer tandis que l'emplacement des vibrations et leurs intensités seront contrôlés grâce au plugin Unity. Concernant l'application mobile, l'image de l'icône correspondra au type de limitation à savoir l'environnement,

la qualité de la route et de la voie, des obstacles mobiles ou fixes. La combinaison de couleur jaune-noir traduira une sévérité de niveau 1 et la combinaison orange-noir la sévérité de niveau 2. Il est également possible d'appuyer sur l'icône pour ouvrir une fenêtre un peu plus grande qui donne les mêmes informations de manière textuelle. Il est possible de déplacer les icônes sur l'écran et également de les supprimer en appuyant sur une petite croix en haut à droite de l'icône. Cette application est développée sous Android.

L'utilisation de ces concepts amène aux hypothèses suivantes :

- Les personnes avec une des ces deux interfaces posséderont une meilleure connaissance de la situation et des limitations rencontrées que des personnes sans interface. Les personnes avec une interface percevront plus de limitations dans leur environnement.
- La reprise de contrôle sera plus efficace (temps de réaction plus court) [14]
- Les personnes ayant une des ces deux interfaces seront plus impliquées dans une tâche secondaire ou auront de meilleures performances [9].

4 EXPÉRIENCE

4.1 Participants

28 participants (5 femmes et 23 hommes) ont pris part à l'expérience. L'âge des participants était entre $25,89 \pm 5,47$ ans et ils ont obtenu leur permis de conduire il y a $6,89 \pm 5,76$ ans. En moyenne, ils annoncent parcourir $6955,22 \pm 8478,59$ km par ans. Cinq participants ont déjà conduit un véhicule de niveau 2. Quatre participants ont déclaré avoir déjà conduit ce type de véhicule mais sans activer les deux systèmes de contrôle latéral et longitudinal simultanément. 10 participants ont déjà participé à une expérience dans un simulateur de conduite.

4.2 Matériel

L'expérience a été réalisée sur un simulateur à base fixe. L'espace de conduite principal comprend un siège réglable, une ceinture de sécurité, un volant Logitech G Driving Force 920 avec set de pédales. Dans cette étude, le véhicule a une boîte de vitesse automatique. Une tablette tactile de 13.3" est située derrière le volant pour afficher le tableau de bord du véhicule et le statut du système autonome (activé/désactivé). Toute cette structure est installée devant un grand écran de télé 65" où le logiciel de simulation de conduite GENIVI [1] est diffusé. Il s'agit d'un logiciel open-source créé en collaboration par un consortium de constructeurs automobiles pour la recherche sur les véhicules autonomes et développé sur Unity. L'environnement rural choisi modélise le parc national Yosemite (USA) et permet d'utiliser le véhicule en conduite autonome. La tâche non liée à la conduite est réalisée sur une tablette tactile (Samsung Galaxy Tab A).

4.3 Scénario et design expérimental

Tous les participants se sont retrouvés au volant d'un véhicule de niveau 3. Ils avaient pour tâche de réaliser une activité secondaire cognitive sur la tablette (2-back task visuel [15]) et d'être capable de reprendre le contrôle du véhicule à la demande de celui-ci dans le cas d'une situation critique. Chaque participant a rencontré les

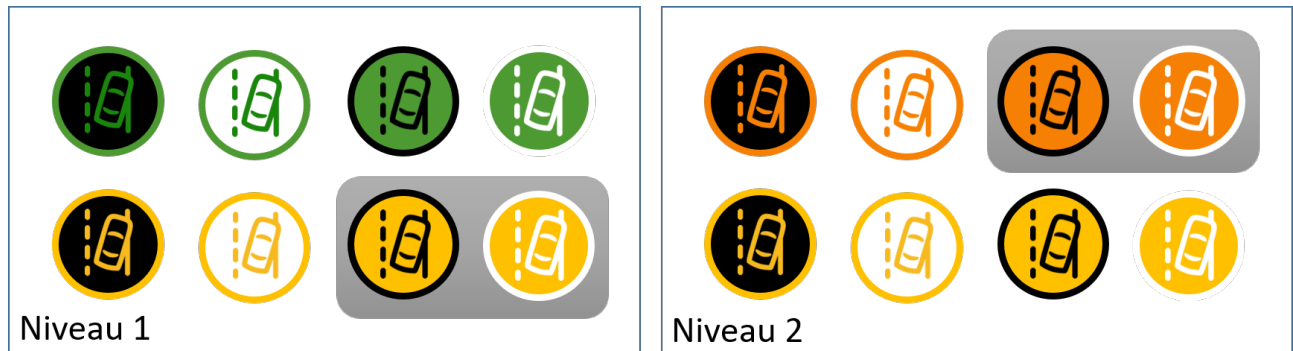


Figure 2: Choix des combinaisons de couleurs - Exemples pour les limitations liées aux lignes et résultats du questionnaire (encadrés gris)

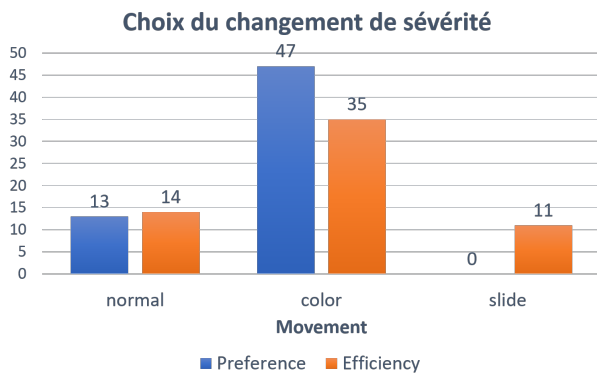


Figure 3: Résultats concernant le choix du type de mouvement

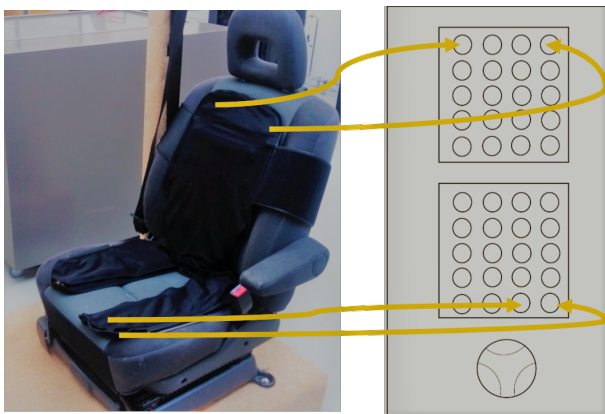


Figure 4: Installation du siège haptique

mêmes limitations dans le même ordre : les deux lignes au sol effacées (centrale et droite) de sévérité 1 puis 2, un obstacle sur la voie opposée de sévérité 1, la ligne centrale effacée de sévérité 1, des obstacles de sévérité 2 bloquant la route suivies par une demande de reprise de contrôle (modalité audio-visuelle). Il s'écoulait entre 3 et 4 min entre chaque limitation. Afin de comparer les deux groupes présentés ci-dessus, les participants étaient divisés en trois groupes

(facteur inter-sujets) : un groupe de contrôle qui ne recevait aucun stimulus en présence d'une limitation excepté la demande de reprise de contrôle, un groupe qui recevait des stimuli haptiques dans le siège en fonction de la limitation et de sa sévérité et enfin un groupe avec l'application mobile qui affichait les icônes directement sur l'écran où est réalisée la tâche secondaire. La durée d'une passation était d'environ 40 minutes.

4.4 Procédure détaillée

La procédure complète détaillée des tests utilisateurs était la suivante :

- Accueil du participants, présentation du contexte et du déroulement de l'expérience.
- Le participant est invité à lire les instructions écrites, à signer le formulaire de consentement et à remplir un premier questionnaire démographique.
- Le participant s'installe ensuite au simulateur pour écouter la description de son fonctionnement. L'expérimenteur présente également la modalité audio-visuelle de reprise de contrôle (affichage de l'icône et écoute du son). Il était ensuite invité à s'entraîner à activer/désactiver le mode autonome et à se familiariser avec la conduite pendant quelques minutes.
- Présentation des différentes vibrations dans le siège pour le groupe avec la modalité haptique ou explication du fonctionnement de l'application mobile pour le groupe avec la modalité visuelle. Description des limitations potentielles et des sévérités associées.
- Explication de la tâche secondaire.
- Début de la phase de test : le participant déclenche la tâche secondaire et le mode autonome. Après chaque limitation, il est demandé au participant d'arrêter le véhicule puis de compléter un questionnaire sur la tablette qui correspond à la situation rencontrée. Il recommence ainsi jusqu'à la demande de reprise de contrôle où il doit arrêter le véhicule ce qui termine l'expérience dans le simulateur. Le participant remplit une dernière fois le questionnaire.
- Le participant remplit la dernière partie du questionnaire puis est remercié de sa participation.

4.5 Questionnaires et mesures

4.5.1 SART et NASA-TLX. Pour évaluer la conscience de la situation des participants après chaque limitation rencontrée, nous avons utilisé le questionnaire standardisé SART (Situation Awareness Rating Technique) [27]. Il s'agit d'un questionnaire d'auto-évaluation composé de 10 items utilisant une échelle de Likert à 7 niveaux. Toujours pour évaluer cette compréhension de la situation, les participants devaient répondre à une question ouverte : "Avez-vous rencontré une limitation ? Si oui, pouvez préciser sa sévérité". Il leur était demandé d'écrire le type de limitation rencontrée (ligne, obstacle, ...) et la sévérité ou bien répondre "je ne sais pas". Pour évaluer la sévérité, les participants avec le siège haptique recevaient des exemples de vibrations en démonstration tandis que les participants avec l'application mobile recevaient une description des couleurs. Le groupe de contrôle recevait des exemples par description orale. Pour évaluer la charge cognitive mentale liée à la difficulté de la tâche secondaire et l'ensemble de la situation, les participants complétaient l'item correspondant (*Mental Demand*) sur une échelle Likert à 20 niveaux de l'outil NASA-TLX [11].

4.5.2 Performances et perception des limitations. Nous évaluons également si les participants recevaient un stimulus (haptique ou visuel) ou bien percevaient une limitation dans l'environnement. Pour cela, si un participant ressentait une vibration (groupe avec le siège haptique), voyait une icône (groupe avec l'application mobile) ou bien voyait une limitation (tous les groupes), il pouvait appuyer sur un bouton directement sur l'écran de la tablette utilisée pour la tâche secondaire et enregistrer cette information. Après avoir appuyé sur ce bouton, les participants pouvaient préciser leur réponse à l'aide de la question ouverte (présentée ci-dessus) au moment de remplir le questionnaire.

L'enregistrement des données de conduite tout au long de l'expérience permet également de mesurer le temps de réaction pour reprendre le contrôle de véhicule suite à la demande de ce dernier.

Enfin, leur performance et leur implication dans la tâche secondaire étaient mesurées grâce au cumul des bonnes réponses, mauvaises réponses mais également grâce aux réponses manquées.

4.5.3 Expérience utilisateur. Afin d'évaluer l'expérience utilisateur sur l'utilisation des concepts proposés, les participants ont répondu au "User Experience Questionnaire Short version" (UEQ-S) [18] afin d'évaluer les qualités pragmatique et hédonique de l'application mobile ou du siège en fonction des conditions de l'expérience. Tous les participants ont aussi rempli un second UEQ-S concernant leur expérience utilisateur avec la simulation de manière générale pour évaluer si l'utilisation d'un des deux concepts pouvait avoir un impact sur le ressenti. Enfin, la fin du questionnaire comportait également des questions ouvertes pour collecter leurs avis sur l'expérience et les concepts évalués de manière générale.

5 RÉSULTATS

Pour évaluer les effets de la modalité et des limitations sur la conscience de la situation (SART), la charge cognitive (NASA) et la tâche secondaire nous avons utilisé un modèle linéaire généralisé avec mesures répétées. Pour évaluer leur impact sur le temps de

réaction et les réponses à la question ouverte, nous avons appliqué une analyse de variance (one-way ANOVA).

5.1 Perception des limitations

L'effet de la modalité est significatif d'après l'analyse statistique ($F(2,25) = 11.66$, $p < .05$, $\mu^2 = .000$). En moyenne, le groupe de contrôle affirme avoir rencontré moins de limitations ($M=0,35$; $SD=0,240$) que les groupes avec le siège haptique ($M=0,79$; $SD=0,502$) et l'application mobile ($M=0,84$; $SD=0,313$) qui recevaient un stimuli en présence d'une limitation.

Enfin, les réponses à la question ouverte "Avez-vous rencontré une limitation ? Si oui, pouvez-vous préciser sa sévérité" ne présentent pas d'impact significatif de la modalité pour reconnaître la limitation ($p=.380$) et identifier sa sévérité ($p=0.299$). Cependant la Figure 5d semble montrer que les participants avaient tendance à répondre plus juste pour détailler le type de limitation avec le siège haptique ($M=0.55$; $SD=.0.14$ contre $M=0.44$; $SD=.0.13$ pour le groupe de contrôle et $M=0.42$; $SD=0.14$ avec l'application mobile). Ils mentionnaient avec plus d'exactitude le type de limitation (lignes effacées ou bien rocher sur la voie pour l'obstacle fixe). De même pour le niveau de sévérité (1 ou 2). Les participants avec les concepts du siège et de l'application répondaient également juste sur la sévérité de la limitation (resp. ($M=0.43$; $SD=.084$ - $M=.67$, $SD=.10$ contre $M=0.28$; $SD=.13$ pour le groupe de contrôle).

5.2 Effet du type de la limitation

Nous avons tout d'abord analysé si la limitation, à savoir son type (ligne et obstacle) et sa sévérité pouvait avoir un impact sur la réalisation de la tâche secondaire mais également sur la charge mentale et la conscience de la situation du conducteur. Ce facteur a un impact significatif sur la charge mentale du conducteur ($F(3,23) = 6.384$, $p < .05$, $\mu^2 = .003$) ainsi que sur le nombre de mauvaises réponses de la tâche secondaire ($F(3,75) = 8.671$, $p < .05$, $\mu^2 = .000$). Cependant, il n'a pas d'impact significatif sur la conscience de la situation ($p=0.89$) ainsi que sur le ratio de réponses manquées ($p=.473$).

5.3 Effet de la modalité

Les graphes de la figure 5 illustrent l'impact de la modalité sur les résultats du SART, du temps de réaction pour la reprise de contrôle et la charge mentale.

L'impact de la modalité sur les résultats du SART n'est pas significatif ($p=0.24$). Cependant, les participants ont tendance à avoir un score plus élevé avec la modalité haptique ($M= 5,938$; $SD=1,460$) et l'application mobile ($M=5,813$; $SD=0,9898$) que le groupe de contrôle ($M=4,570$; $SD=2,994$) (Figure 5a).

Concernant le temps de réaction pour la reprise de contrôle les résultats ne sont pas significatifs ($p=0.361$). Cependant, il semble que l'application mobile présente le plus grand temps de réaction ($M=2777$ ms; $SD= 1348,963$) suivie par la modalité haptique ($M=2198$ ms; $SD=993,585$). Le groupe de contrôle présente le temps de réaction le moins élevé ($M=1950$ ms; $SD=972,766$) (Figure 5b).

L'impact du groupe a un effet tendanciel sur la charge mentale ($F(2,25) = 2.477$, $p > .05$, $\mu^2 = .104$). Le groupe de contrôle présente une charge mentale plus élevée ($M=15,281$; $SD=3,083$) que le groupe avec le siège haptique ($M=13,688$; $SD=2,840$). Le groupe avec

l'application mobile présente la charge mentale la moins élevée ($M=12,194$; $SD=3,398$) (Figure 5c).

Enfin, le type de modalité n'a pas d'impact significatif sur le nombre de mauvaises réponses ($p=.326$) ou manquées ($p=.496$) pendant la tâche secondaire.

5.4 Expérience utilisateur

Concernant l'expérience utilisateur et le ressenti des participants vis-à-vis de la simulation de manière générale, la présence ou non d'une modalité d'interaction (haptique ou visuelle) n'a pas d'impact significatif. Dans l'ensemble, les deux concepts ont été jugés bons et les qualités pragmatique et hédonique ont eu une valeur moyenne positive selon l'outil d'analyse proposé par les auteurs du questionnaire [18]. La moyenne générale du siège haptique est de 1.125 (moyenne pragmatique = 0.825 et hédonique = 1.42). La moyenne générale de l'application mobile est de 1.153 (avec une moyenne pragmatique de 1.52 et une hédonique de .778).

5.5 Retour des participants

Dans l'ensemble, les participants ont apprécié l'expérience et la simulation :

"Le simulateur fonctionne bien et est facile à prendre en main", "La simulation était assez intéressante, n'ayant jamais eu l'occasion de tester une voiture de ce genre auparavant ce fut assez captivant", "La simulation a été une très bonne expérience en soi et permet une mise en situation plausible". Un participant mentionne qu'il trouvait *"Dommage que la conduite soit vraiment très différente de la réalité"* tandis qu'un autre précisait que les formulations de certaines questions du questionnaire SART n'étaient pas toujours très claires. Enfin plusieurs participants ont mentionné qu'il aurait été intéressant de rencontrer plus de limitations : *"Peut-être plus de choses qui se passent comme par exemple des piétons qui traversent la route etc...", "Dommage qu'il n'y ait pas de rencontre avec d'autres voitures ou piétons car ça nous forcerait à faire attention à d'autre environnement"*.

Concernant le groupe avec le siège haptique, une majorité des participants ont jugé utile d'appliquer des vibrations dans le siège : *"vibrations efficaces pour prévenir le conducteur d'un potentiel danger", "je trouve que les vibrations sont un excellent choix pour prévenir le conducteur de certains dangers, intuitif et clair, il pourrait cependant ne pas suffir dans des situations plus complexes"*. Cependant, il était difficile de faire la distinction entre la limitation des lignes au sol et celle de l'obstacle ainsi que la différence de entre les deux niveaux de sévérité : *"Certaines vibrations sont dures à distinguer les unes des autres", "Niveau de sévérité 1 et 2 difficile à différencier. Difficile de se souvenir de la limitation rencontrée à la fin de l'expérience, même si la situation a parfois été comprise sur le moment", "sentir la différence entre les différents niveaux de vibration et le positionnement n'est pas facile. utiliser peut-être le nombre de vibration pour signaler la sévérité ?"*. Il est donc naturellement proposé *"[d']essayer d'augmenter plus la différence d'intensité des vibrations entre les niveaux de dangers"*. Seul un participant ne se sentait pas rassuré quand il était confronté à un stimuli : *"il n'y avait pas vraiment de sérénité quand une vibration d'information arrivait"*.

Concernant le groupe avec l'application mobile, les participants ont également apprécié cette modalité : *"Les pop-up sont biens, les icônes sont rapidement lisibles et comprises, de plus le mouvement qu'elles font attire bien l'attention", "Les pop-up sont assez explicites, rassurant lorsqu'on est concentré sur autre chose...", "les pop-up sont assez clairs pour comprendre rapidement à quoi elles font référence"*. Cependant pour deux participants, les couleurs jaune et orange sont trop proches. Enfin, un participant propose d'utiliser des formes différentes pour distinguer les différents niveaux : *"pour du niveau 2 je mettrais un pop up plus important/gros ou une forme différente (ex. un triangle et garder un rond pour le niveau 1)"*.

Pour finir, la tâche secondaire a été jugée très prenante, voire difficile, par la majorité des participants : *"Le niveau de difficulté de l'exercice de concentration est intéressant", "la tâche secondaire a bien pris de l'attention. j'étais pas du tout capable de regarder la route", "Concernant la tâche secondaire, elle représente une bonne distraction cognitive à mon avis, distrayant suffisamment l'attention du conducteur pour ne plus être tout à fait conscient de la route et de la conduite"*.

6 DISCUSSION

6.1 Hypothèses de départ

Le but principal de cette expérience était de valider si les participants utilisant soit le siège haptique soit l'application mobile allaient avoir une meilleure conscience de la situation. Les résultats sur la reconnaissance des limitations montrent que la manipulation expérimentale a bien été mise en place. En effet, cette analyse montre que les groupes recevant un stimulus en rapport avec une limitation ont vu plus de limitations dans l'environnement que dans le groupe de contrôle qui ne recevait aucune information. Bien que les résultats ne soient pas significatifs, on remarque que les groupes avec une modalité de communication (siège haptique ou application mobile) semblent présenter une conscience de la situation un peu plus élevée mais surtout une meilleure compréhension de la situation comme le montrent les réponses à la question ouverte. De plus, les utilisateurs avec une des deux interfaces rajoutaient plus souvent l'information de l'emplacement de la limitation (par exemple, rocher sur voie de gauche) que le groupe sans aucun concept. Ce manque de résultats significatifs peut s'expliquer par le faible nombre de participants en fonction du nombre de conditions variables de l'expérience. De même, certains participants ne répondaient pas entièrement à la question ouverte. Certains mentionnaient seulement le type de limitation ou bien uniquement la sévérité. Il est donc difficile de savoir s'ils ne répondaient pas par manque de compréhension de la consigne ou bien simplement parce qu'ils savaient pas, rendant l'analyse de ces résultats plus compliquée. Une solution serait de proposer un menu déroulant avec plusieurs types de limitation et un menu déroulant avec les sévérités. Les deux menus devront aussi comprendre les options "je ne sais pas" et "aucune".

Une seconde hypothèse était que les participants avec une modalité d'interaction allaient avoir un temps de réaction plus court que le groupe sans modalités car ils recevaient une pré-alerte [14]. Dans le cadre de cette expérience, cette hypothèse n'est pas validée au vu des résultats présentés ci-dessus. Cela est peut-être dû au fait que les participants ne recevaient aucune information de la part du

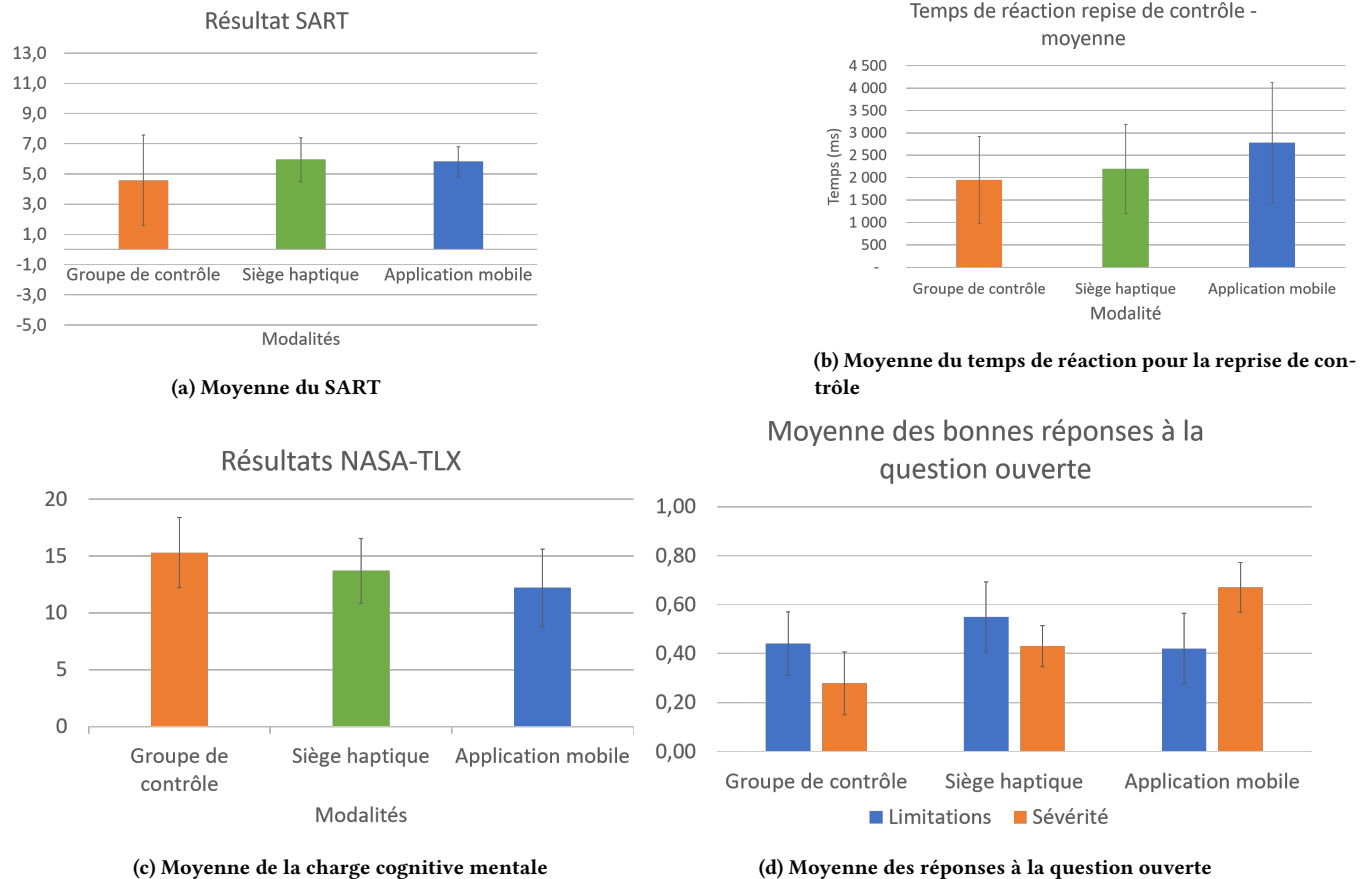


Figure 5: Impact de la modalité sur la conscience de la situation, le temps de reprise de contrôle et la charge cognitive

véhicule surveillaient peut-être plus fréquemment la route (ce qui peut se confirmer par le fait qu'ils faisaient plus d'erreurs dans la tâche secondaire). Une solution pour évaluer et mesurer ce comportement serait d'utiliser un système d'*eye-tracking* pour voir où regarde le conducteur mais également pendant combien de temps son regard se fixe sur un élément [28]. De même, un participant a mentionné avoir "abandonné" parfois la tâche pour regarder la route" (groupe de contrôle) et plusieurs mentionnent qu'il était difficile de rester concentré car la tâche était difficile et répétitive.

Il était aussi possible de penser que la présence d'une modalité pour communiquer des informations relatives à l'environnement pouvait avoir un impact sur la tâche secondaire telle qu'une meilleure implication et de meilleures performances (ce qui peut refléter une meilleure confiance envers le système) [9]. Bien que les résultats ne soient pas significatifs, on remarque que les participants avec le siège haptique semblent avoir une meilleure performance dans la tâche secondaire et donner des réponses moins erronées. Les participants avec l'application mobile ont également donné moins de réponses erronées que le groupe de contrôle mais ont manqué presque autant de combinaisons. Cela peut s'expliquer par le fait qu'ils pouvaient appuyer sur l'icône pour avoir le détail écrit du type de limitation et de sa sévérité. Il est donc possible qu'ils laissaient la tâche de côté pour lire ces informations. De plus, en

ouvrant cette même icône, la fenêtre s'agrandissait pour afficher les informations et ils pouvaient déplacer cette nouvelle fenêtre au centre de la tablette et donc sur l'affichage des lettres de la tâche de n-back.

Enfin, les résultats montrent que la présence d'une interface (haptique ou visuelle) n'a aucun impact sur l'expérience utilisateur de la simulation de manière générale. Dans l'ensemble, chacun de ces deux concepts a été décrit comme bon d'après le questionnaire expérience utilisateur. Les participants reconnaissent l'utilité de tels concepts comme le démontre les feedbacks.

Nous pouvons également noter que dans l'expérience précédente qui permettait de valider le *mapping* du siège, le concept avait reçu une moyenne de 1.896 (avec une moyenne pragmatique de 1.729 et une moyenne hédonique de 2.063) qui est un peu plus élevée que l'évaluation du même système dans des conditions plus proche de la réalité (moyenne générale 1.125 - moyenne pragmatique = 0.825 et hédonique = 1.42). Une étude statistique inter-sujet montre que ces résultats sont significatifs ($F(1,21)=10.49$, $p < .05$, $\mu^2 = .004$). Ceci montre que les conditions de test sont également très importantes à prendre en compte lors de l'évaluation d'un tel concept surtout dans une démarche itérative. La différence entre les moyennes hédoniques ne sont pas significatives ($p=.089$). En effet, le fonctionnement de l'interface a très peu changé entre les deux

expériences, la modalité est toujours définie comme intéressante et novatrice. Tandis que la différence entre les moyennes pragmatiques sont significatives ($F(1,21)=7.32$, $p < .05$, $\mu^2 = .014$) ce qui montre à nouveau que les conditions de test sont très importantes car l'utilisation de la modalité a pu paraître plus compliquée et plus confuse en situation de conduite alors que ces problématiques ont été peu mise en avant lors de la première expérience qui était totalement détachée des conditions de conduites et d'une tâche secondaire.

6.2 Poursuite des recherches

Dans cette étude les deux interfaces, à savoir le siège haptique et l'application mobile, sont testées et évaluées individuellement. Il faudrait maintenant étudier s'il est possible de mesurer un plus grand impact avec un modèle intelligent combinant ces deux modalités. Le but serait d'évaluer si la combinaison adaptative de ces modalités pourra maintenir la conscience de la situation du conducteur pendant les phases de conduite autonome. En outre, il sera intéressant d'évaluer la complémentarité et la redondance de la combinaison des ces modalités. Il est cependant nécessaire d'apporter des améliorations et plus particulièrement de proposer une meilleure distinction entre les différentes intensités de vibration.

7 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté la mise en place et l'implémentation d'un siège haptique et d'une application mobile afin de transmettre au conducteur des informations liées à son environnement (état du marquage au sol et obstacle). Ces deux concepts ont ensuite fait l'objet d'une comparaison au cours d'une expérience utilisateur pour évaluer leur impact sur la conscience de la situation du conducteur, le temps de réaction pour reprendre le contrôle, l'implication dans une tâche secondaire et l'expérience utilisateur. L'analyse a montré des résultats prometteurs en termes d'utilisation de ces deux concepts pour maintenir la conscience de la situation du conducteur. Ces deux concepts seront ensuite implémentés dans un modèle interaction adaptatif qui choisira des combinaisons de modalités en fonction des informations à transmettre mais également en fonction de l'état du conducteur.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été soutenu par la Fondation Hasler dans le cadre du projet AdVitam. Les auteurs tiennent à remercier toutes les personnes qui ont contribué à cet article.

REFERENCES

- [1] 2018. GENIVI Vehicle Simulator. <https://at.projects.genivi.org/wiki/display/PROJ/GENIVI+Vehicle+Simulator>
- [2] 2018. Human error as a cause of vehicle crashes. <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2013/12/human-error-cause-vehicle-crashes>
- [3] Gregory Anderson and Darryl Plecas. 2010. The Science of Warning Lights. 1 (01 2010).
- [4] S Bakker and K Niemannsverdriet. 2016. The interaction-attention continuum: Considering various levels of human attention in interaction design. *International Journal of Design* 10 (08 2016), 1–14.
- [5] Marine Capallera, Peio Barbé-Labarthe, Leonardo Angelini, Omar Abou Khaled, and Elena Mugellini. 2019. Convey Situation Awareness in Conditionally Automated Driving with a Haptic Seat. In *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications: Adjunct Proceedings* (Utrecht, Netherlands) (*AutomotiveUI '19*). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 161–165. <https://doi.org/10.1145/3349263.3351309>
- [6] Marine Capallera, Quentin Meteier, Emmanuel de Salis, Leonardo Angelini, Stefano Carrino, Omar Abou Khaled, and Elena Mugellini. 2019. Tâche secondaire et conscience de l'environnement, une application mobile pour véhicule semi-autonome. In *Actes de la 31e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM 2019)*. ACM, Grenoble, France, 12:1–10. <https://doi.org/10.1145/3366550.3372258>
- [7] Wonsuk Chang, Wonil Hwang, and Yong Gu Ji. 2011. Haptic Seat Interfaces for Driver Information and Warning Systems. *International Journal of Human-Computer Interaction* 27, 12 (2011), 1119–1132. <https://doi.org/10.1080/10447318.2011.555321> arXiv:<https://doi.org/10.1080/10447318.2011.555321>
- [8] M. Fahle and C. Wehrhahn. 1991. Motion perception in the peripheral visual field. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology* 229 (1991), 430–436. <https://doi.org/10.1007/BF00166305>
- [9] Yannick Forster, Viktoria Geisel, Sebastian Hergeth, Frederik Naujoks, and Andreas Keinath. 2020. Engagement in Non-Driving Related Tasks as a Non-Intrusive Measure for Mode Awareness: A Simulator Study. *Information* 11, 5 (2020). <https://doi.org/10.3390/info11050239>
- [10] Thomas Grah, Felix Epp, Martin Wuchse, Alexander Meschtscherjakov, Frank Gabler, Arnd Steinmetz, and Manfred Tscheligi. 2015. Dorsal haptic display: a shape-changing car seat for sensory augmentation of rear obstacles. In *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '15)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 305–312. <https://doi.org/10.1145/2799250.2799281>
- [11] Sandra G. Hart and Lowell E. Staveland. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In *Human Mental Workload*, Peter A. Hancock and Najmedin Meshkati (Eds.). Advances in Psychology, Vol. 52. North-Holland, 139–183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- [12] SAE International. 2018. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.
- [13] Yong Gu Ji, Kwangil Lee, and Wonil Hwang. 2011. Haptic perceptions in the vehicle seat. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 21, 3 (2011), 305–325. <https://doi.org/10.1002/hfm.20235> eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/hfm.20235>
- [14] HyunSuk Kim, Woojin Kim, Jungsook Kim, Seung-Jun Lee, and DaeSub Yoon. 2019. A study on the Effects of Providing Situation Awareness Information for the Control Authority Transition of Automated Vehicle. In *2019 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. 1394–1396. <https://doi.org/10.1109/ICTC46691.2019.8939867>
- [15] W. Kirchner. 1958. Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of experimental psychology* 55 4 (1958), 352–8.
- [16] Alexander Kunze, Stephen J. Summerskill, Russell Marshall, and Ashleigh J. Filtness. 2019. Conveying Uncertainties Using Peripheral Awareness Displays in the Context of Automated Driving. In *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '19)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 329–341. <https://doi.org/10.1145/3342197.3344537>
- [17] David Large, Gary Burnett, Davide Salanitri, Anneka Lawson, and Elizabeth Box. 2019. A Longitudinal Simulator Study to Explore Drivers' Behaviour in Level 3 Automated Vehicles. <https://doi.org/10.1145/3342197.3344519>
- [18] Bettina Laugwitz, Theo Held, and Martin Schrepp. 2008. Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In *HCI and Usability for Education and Work (Lecture Notes in Computer Science)*, Andreas Holzinger (Ed.). Springer, 63–76. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6
- [19] Andreas Löcken, Wilko Heuten, and Susanne Boll. [n.d.]. AutoAmbiCar: Using Ambient Light to Inform Drivers About Intentions of Their Automated Cars. ([n. d.]), 6.
- [20] David Miller, Annabel Sun, Mishel Johns, Hillary Ive, David Sirkin, Sudipto Aich, and Wendy Ju. 2015. Distraction Becomes Engagement in Automated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 59 (09 2015), 1676–1680. <https://doi.org/10.1177/1541931215591362>
- [21] Annie W.Y. Ng and Alan H.S. Chan. 2018. Color associations among designers and non-designers for common warning and operation concepts. *Applied Ergonomics* 70 (2018), 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.02.004>
- [22] A. Riener, A. Ferscha, P. Frech, M. Hackl, and M. Kaltenberger. 2010. Subliminal vibro-tactile based notification of CO₂ economy while driving. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '10)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 92–101. <https://doi.org/10.1145/1969773.1969790>
- [23] Ruth Rosenholtz. 2016. Capabilities and Limitations of Peripheral Vision. *Annual Review of Vision Science* 2, 1 (2016), 437–457. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-082114-035733> arXiv:<https://doi.org/10.1146/annurev-vision-082114-035733> PMID: 28532349.
- [24] Ronald Schroeter and Fabius Steinberger. [n.d.]. Pokémon DRIVE: Towards Increased Situational Awareness in Semi-Automated Driving. ([n. d.]), 5.

- [25] Matti Schwalk, Niko Kalogerakis, and Thomas Maier. 2015. Driver Support by a Vibrotactile Seat Matrix – Recognition, Adequacy and Workload of Tactile Patterns in Take-over Scenarios During Automated Driving. *Procedia Manufacturing* 3 (Jan. 2015), 2466–2473. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.507>
- [26] K. Sonoda and T. Wada. 2017. Displaying System Situation Awareness Increases Driver Trust in Automated Driving. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* 2, 3 (2017), 185–193. <https://doi.org/10.1109/TIV.2017.2749178>
- [27] Richard M Taylor. 2017. Situational awareness rating technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design. In *Situational awareness*. Routledge, 111–128.
- [28] Ariel Telpaz, Brian Rhindress, Ido Zelman, and Omer Tsimhoni. 2015. Haptic Seat for Automated Driving: Preparing the Driver to Take Control Effectively (*AutomotiveUI '15*). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 23–30. <https://doi.org/10.1145/2799250.2799267>
- [29] Tobias Vogelpohl, Matthias Kühn, Thomas Hummel, and Mark Vollrath. 2019. Asleep at the automated wheel-Sleepiness and fatigue during highly automated driving. *Accident; Analysis and Prevention* 126 (May 2019), 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.013>
- [30] Nidzamuddin Yusof, Juffrizal Karjanto, Shivam Kapoor, Jacques Terken, Frank Delbressine, and Matthias Rauterberg. 2017. Experimental Setup of Motion Sickness and Situation Awareness in Automated Vehicle Riding Experience. In *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct (AutomotiveUI '17)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 104–109. <https://doi.org/10.1145/3131726.3131761>