



HAL
open science

Cockpit Multimodal Interactif: conception et évaluation d'une interface multimodale pour l'automatisation de la conduite

Kahina Amokrane, Sabine Langlois, Noé Monsaingeon, Virgil Rousseaux,
Jean-Marc Tissot

► **To cite this version:**

Kahina Amokrane, Sabine Langlois, Noé Monsaingeon, Virgil Rousseaux, Jean-Marc Tissot. Cockpit Multimodal Interactif: conception et évaluation d'une interface multimodale pour l'automatisation de la conduite. 2023. hal-04149466

HAL Id: hal-04149466

<https://hal.science/hal-04149466v1>

Preprint submitted on 3 Jul 2023

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.

Cockpit Multimodal Interactif : conception et évaluation d'une interface multimodale pour l'automatisation de la conduite

Kahina Amokrane-Ferka¹, Sabine Langlois², Noé Monsaigneon³, Virgil Rousseaux¹, Jean-Marc Tissot⁴

¹IRT SystemX, Palaiseau ; kahina.amokrane-ferka@irt-systemx.fr , virgil.rousseaux@irt-systemx.fr

²Renault Technocentre, Guyancourt ; sabine.langlois@renault.com

³Laboratoire Cognition, Langue, Langage, Ergonomie, Toulouse ; noe.monsaigneon@univ-tlse2.fr

⁴Valeo, Annemasse ; jean-marc.tissot@valeo.fr

1-Introduction

Le projet Cockpit Multimodal Interactif (CMI) a été mené entre avril 2018 et septembre 2021 grâce à la collaboration entre plusieurs partenaires : Arkamys, IRT System X, Renault, Saint-Gobain Sekurit, Valeo, ENSC et Centrale Supélec. Ce projet visait à étudier l'interfaçage de véhicules automatisés et à en déterminer les effets sur l'interaction avec le conducteur. Cet article présente les enjeux de ce domaine d'étude, ainsi que l'approche méthodologique et les tests utilisateurs menés durant le projet CMI.

Les véhicules commercialisés actuellement sont dotés de plus en plus de systèmes d'automatisation de la conduite. L'automatisation vise à permettre de déléguer au véhicule tout ou partie de la tâche de conduite. Une problématique émerge alors pour le conducteur : celle de savoir à tout instant quel est son rôle. La Society of Automotive Engineers a défini 6 niveaux d'automatisation (SAE, 2021). Le niveau 0 correspond à la conduite entièrement manuelle, désigné *L0* dans ce manuscrit. Au niveau 1, désigné *L1*, le système prend en charge le contrôle longitudinal ou latéral du véhicule. S'il s'agit du contrôle longitudinal, le système (usuellement appelé *Adaptive Cruise Control*, ACC) peut ajuster la vitesse en fonction d'une vitesse de consigne et de la distance au véhicule qui le précède. S'il s'agit du contrôle latéral, le système (appelé dans cet article *Lane Centering*, LC) ajuste la position du véhicule et le maintien au centre de la voie. Les véhicules de niveau 2, désigné *L2*, sont considérés comme des véhicules partiellement automatisés car le système contrôle à la fois les mouvements longitudinaux et latéraux du véhicule. En *L2*, le conducteur a pour rôle de superviser l'activité du système. *L0*, *L1* et *L2* correspondent à la conduite manuelle, désignée *Manual Driving* (MD). A partir du niveau 3, désigné *Automated Driving* (AD) et pour les niveaux supérieurs, le conducteur peut temporairement céder au système la supervision de la conduite, ce qui peut lui permettre de vaquer à d'autres occupations sans surveiller l'environnement de conduite (e.g., lire, regarder une vidéo).

Des études menées par les partenaires avant le démarrage du projet mettent en évidence que les interfaces homme-machine (IHM) classiquement utilisées dans les voitures (icône ou texte sur le tableau de bord avec émission d'un son quand l'urgence l'exige) ne remplissent que partiellement le besoin du conducteur de savoir quel est son rôle tout au long du trajet.

Le projet a comme premier objectif de développer des IHM sans modifier le fonctionnement des systèmes automatisés. Ces IHM s'appuieront sur des modalités sensorielles diversifiées, telles que la

vision périphérique, les perceptions haptiques ou encore le son spatialisé, en complément des modalités actuellement sollicitées (vision centrale, son non spatialisé). Le second objectif du projet est d'évaluer auprès d'utilisateurs si ces IHM rendent compte clairement du niveau d'automatisation pour permettre au conducteur d'être à tout instant conscient du rôle qu'il a à jouer. L'intérêt d'une IHM multimodale est d'optimiser l'interaction entre le système et son utilisateur en profitant des avantages de chaque modalité (un texte est facile à comprendre mais n'est perçu que si le conducteur a les yeux sur le tableau de bord, un son est moins facile à comprendre mais il est perçu plus efficacement). La multimodalité permet aussi de graduer l'urgence de messages successifs. Enfin, le projet a fait l'hypothèse que la redondance de plusieurs modalités utilisées pour un même message permettrait d'assurer que des conducteurs ayant des sensibilités différentes percevront tous le message.

Afin de créer une *orchestration multimodale*, nous avons mené une démarche de conception centrée sur l'utilisateur : nous avons analysé les problèmes identifiés par les partenaires dans leur études préalables, mis à jour les besoins du conducteur, et, avec l'aide de la méthodologie de *Design Thinking* (voir section 2) nous avons défini les exigences à remplir par les IHM, qui ont ensuite pu être spécifiées, conçues, puis développées.

Pour concevoir et développer les IHM, nous nous sommes appuyés sur les technologies disponibles ou en cours de mise au point par les différents partenaires. Ainsi Saint-Gobain Sekurit a intégré différentes technologies d'éclairage et d'affichage dans le pare-brise et les vitrages latéraux, Arkamys a assuré la spatialisation des sons émis par les haut-parleurs du véhicule, et Valeo a notamment apporté la possibilité d'avoir un écran tactile et des LED sur le volant, ainsi que le module logiciel qui assure la supervision entre les différentes technologies IHM. Le laboratoire Cognition, Langues, Langage, Ergonomie (CLLE, Toulouse), associé au projet en temps qu'encadrant de la thèse Cifre Renault de Noé Monsaingeon, et l'École Nationale Supérieure de Cognitique (ENSC, Bordeaux), partenaire du projet comme encadrant de la thèse IRT de Clarisse Lawson-Guidigbé, ont servi de support théorique et méthodologique pour la conception des IHM et leurs évaluations.

À la suite de la présentation de la méthodologie adoptée, nous exposerons les différents travaux menés par le projet pour évaluer l'intérêt de la multimodalité pour les véhicules équipés de différentes combinaisons de niveaux d'automatisation. Le projet a fait le choix de se concentrer sur trois types de véhicule : un véhicule partiellement automatisé (L0, L1 et L2), un véhicule hautement automatisé simplifié (L0 et AD uniquement) ou un véhicule disposant de tous les niveaux d'automatisation.

Nos travaux s'articulent autour des enjeux relatifs aux facteurs humains à prendre en compte pour assurer une expérience satisfaisante de l'usage d'un système d'automatisation de la conduite : l'attention (en particulier par le biais de la vision périphérique), la conscience des modes, la conscience de la situation et la confiance.

2-Démarche de conception et tests utilisateurs sur simulateur

Dans l'automobile, les activités en lien avec la sécurité et le confort s'appuient principalement sur des boucles d'échange d'informations entre l'environnement, le véhicule (via ses IHM) et le conducteur. Il est fondamental que ce qui est attendu du conducteur en termes de perception, d'interprétation, de prise de décision et d'action soit compatible avec ses capacités cognitives. Le projet a distingué deux thématiques d'étude. La première concerne la transition entre AD et MD. La seconde s'est

focalisée sur la capacité des IHM à rassurer le conducteur vis-à-vis des décisions prises par le véhicule en AD.

Une approche de Design Thinking est indiquée pour traiter les thématiques du projet et tenir compte de la multiplicité des profils des conducteurs. Une méthode d'innovation centrée sur les utilisateurs a donc été déployée afin d'alimenter les processus de conception et d'évaluation. Elle a permis de définir des profils d'utilisateurs, des scénarios de contextes d'utilisation du véhicule, des concepts de dialogue et d'IHM, leurs mises en œuvre, et enfin, leur évaluation au travers de tests utilisateurs.

Les profils utilisateurs

En amorce du processus de conception, une approche de design collaboratif rassemblant les partenaires a été mise en place. Des profils d'utilisateurs ont été construits afin d'engager une empathie des concepteurs d'IHM envers les utilisateurs-conducteurs potentiels. Des séances de travail se sont appuyées sur des caractéristiques de conducteurs comme la connaissance préalable de l'automatisation, la confiance dans les aptitudes personnelles à la conduite et les états émotionnels pour soutenir la construction de personae. Ces derniers incarnent les conducteurs sous forme d'archétypes représentant une variabilité inter et intra individuelle.

Deux profils ont notamment été déterminés (Figure 1) :

- Iris, qui connaît déjà L1 et/ou L2 ; elle découvre l'AD et peut être sur-confiante envers ses capacités à conduire cette catégorie de véhicule ;
- Roberto, qui diffère du profil précédent par son manque de confiance dans la technologie, présente quant à lui un profil émotionnel plutôt anxieux et se trouve en situation de stress en conduite.

Figure 1 : Cartes de profil d'Iris et Roberto

Les scénarios d'usage

Tout comme les personae, la définition des scénarios d'usage (Figure 2a) est fondamentale dans la démarche de Design Thinking. Elle permet d'envisager des réponses précises à apporter à des situations rencontrées par des utilisateurs finaux (Figure 2b).

Un intérêt particulier a été porté sur les situations de reprise en main, c'est à dire les transitions d'AD vers MD. Des situations de difficultés variables en termes de temps alloué à la reprise en main et de

charge cognitive ont été définies. L'enjeu associé est de s'assurer de la conscience du conducteur sur le niveau d'automatisation du véhicule engagé ou souhaité.

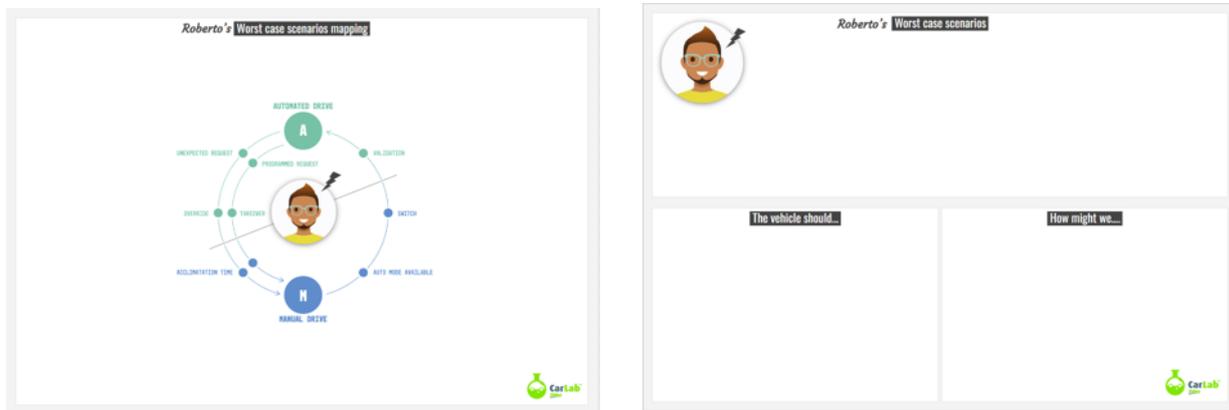


Figure 2 : Supports utilisés en atelier pour les cas d'usage difficiles et les propositions d'IHM : a) Carte de cas d'usage difficiles rencontrés par Roberto, b) carte de proposition de réponses aux cas d'usages difficiles

La notion de confiance du conducteur sur la prise en charge des situations par le véhicule lorsqu'AD est activé est capitale dans le cas de la rassurance. Des situations à risques caractéristiques en termes de contextes et de tâches de conduite ont été prises en compte. Des cas de brouillard, d'embouteillage et de surgissement d'une moto ont été étudiés afin de déterminer des éléments de réponses à envisager par la future automatisation de conduite.

Ainsi, la définition conjointe des scénarios et des personae a été le support des premières recherches créatives à l'aide de support d'idéation (Figure 3) afin de définir un éventail de réponses adaptées aux problématiques du projet.

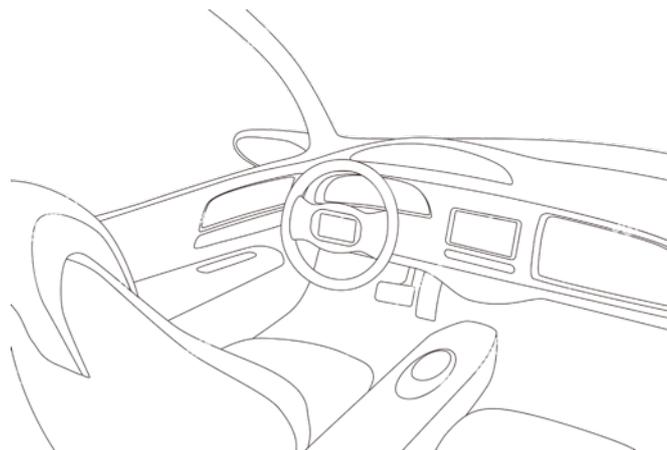


Figure 3 : Support d'idéation pour la recherche de solutions de présentation de l'information pour le cas d'usage de la réassurance. Les participants aux séances créatives proposaient des formes et des localisations d'IHM.

La recherche de solutions

Tout d'abord les partenaires ont établi les questions de recherche sur la base des problématiques inhérentes à l'objectif principal du projet :

1. La multimodalité sensorielle rend-elle l'expérience utilisateur satisfaisante ?
2. Le niveau de transparence est-il adapté ? Ce que l'IHM montre de la perception du système, de ses intentions / actions est approprié ?
3. Le choix des modalités de l'IHM est-il adapté ?
4. Les utilisateurs ont-ils une représentation correcte du système ?
5. Est-il utile d'adapter l'IHM à l'expertise de l'utilisateur ?

Sur cette base, les personae ont permis de donner des angles de réponses selon les profils de conducteurs. Les hypothèses et des formalisations d'IHM spécifiques ou communes aux personae ont ensuite pu être établies. Par exemple, pour le profil Roberto préférant des interfaces "simples" et une conduite qui est totalement automatisée ou totalement manuelle, il a été établi l'usage de LED sur le volant pour explicitement indiquer le statut du véhicule ainsi que la conduite à tenir dans le cas des transitions (Figure 4).



Figure 4 : Pour Roberto, des LED dans le volant et l'affichage d'une icône dans le pare-brise indiquent que la conduite automatisée est active

Pour Iris, persona parfois trop confiante qui souhaite tester toutes les fonctions mises à sa disposition, il a été défini un halo provenant de LED intégrées au pare-brise, accompagnées d'à-coups dans le volant, pour indiquer qu'AD est activé. Pour L2, une symbolique spécifique sur les limites du système d'assistance à la conduite a été également ajoutée dans l'écran du tableau de bord (Figure 5).

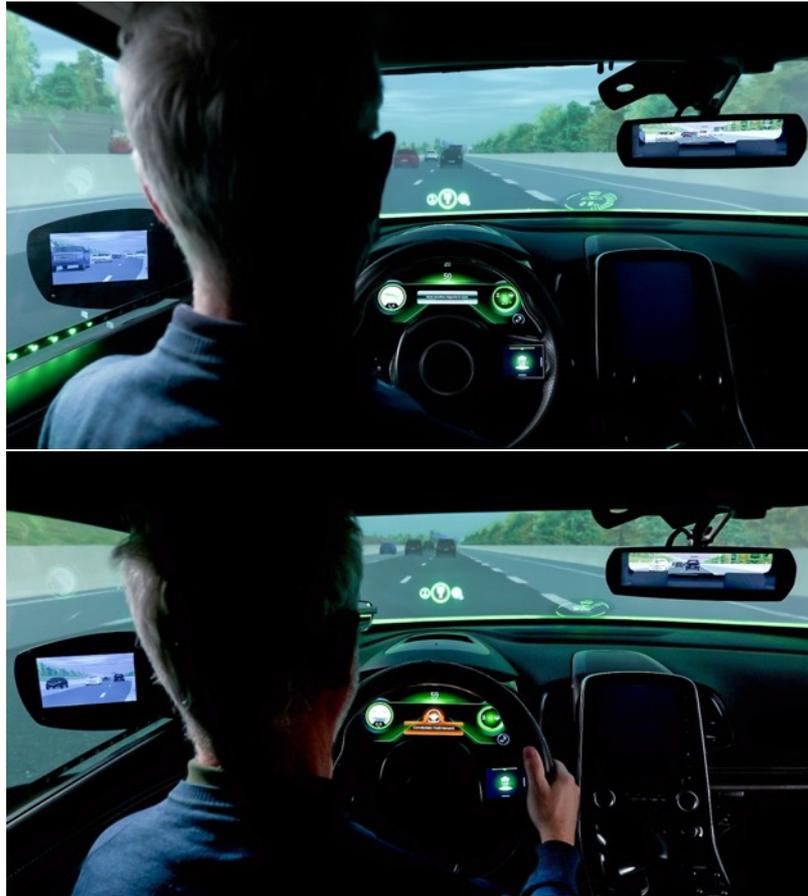


Figure 5 : Pour Iris, un halo en bas de pare-brise et une icône de même couleur indiquent que la conduite automatisée est active

Le programme d'étude se concentrant notamment sur les modalités mises en œuvre, les supports d'interfaces sur lesquels le projet s'est appuyé ont été diversifiés : des interfaces graphiques incluant des icônes, des messages sonores et haptiques (développés par l'IRCAM) localisés ou dirigés à l'attention unique du conducteur, des sources d'éclairages telles que des LED dans les vitrages mais aussi une représentation plus intégrée telle qu'un assistant virtuel sous forme d'hologramme sur la planche de bord (développé par l'ENSC).

Sur la durée du projet, ce sont 8 configurations d'IHM qui ont été mises en place pour répondre aux questions de recherche (voir Tableau 1). Chaque configuration correspond à un ensemble de d'éléments d'IHM spécifiques à un profil de conducteur, Iris ou Roberto, et à un type de véhicule parmi les 4 suivants :

- Cockpit AD simplifié : simule un véhicule automatisé équipé des niveaux L0 et AD destiné au persona Roberto
- Cockpit AD Assistant : représente un véhicule automatisé équipé des niveaux L0 et AD et enrichi d'un assistant virtuel de conduite.
- Cockpit du futur : simule un véhicule équipé de tous les niveaux d'automatisation étudiés dans le projet : L0, L1, L2 et AD.
- Cockpit Limits : représente un véhicule actuel, partiellement automatisé, équipé des niveaux L0, L1 et L2, destiné au persona Iris

Persona	Persona Roberto				Persona Iris			
Type de véhicule	Cockpit AD simplifié (L0, AD)		Cockpit AD Assistant (L0, AD)		Cockpit du futur (L0, L1, L2, AD)		Cockpit Limits (L0, L1, L2)	
Configuration	(1) Roberto_Baseline	(2) Roberto_CMI	(3) Assistant_vocal	(4) Assistant_vocal visuel	(5) Iris_Baseline	(6) Iris_CMI	(7) Limits_Baseline	(8) Limits_CMI
Cluster	Assets L0, AD	Assets L0, AD + messages rassurant AD	Idem (2) + messages explicatifs	Idem (3) + remplacement icone chauffeur par avatar	Assets L0, L1, L2, AD		Assets L0, L1, L2	Assets L0, L1, L2 + surcouche IPLA
HUD classique	Assets L0, AD			Idem (3) + remplacement icone chauffeur par avatar	Assets L0, L1, L2, AD			
Sons spatialisés	Messages vocaux + sons non vocaux		Idem (2) + messages vocaux dédiés		Messages vocaux + sons non vocaux			Sons transition L0/L1-L2, L2-L1, L2-L0
Haptique volant	Rigidité : AD = Tesla A-coup absent				Rigidité : L2=Espace + AD=Tesla A-coup=absent	Rigidité =idem baseline A-coup=présent pendant transitions	Idem (5)	Idem (6)
Haptique siège		Oui (fichiers Ircam)				Oui (fichiers Ircam)		Idem (6)
LEDs vitrages		Suivi moto en AD			LED unique rétro (BSW)	Oui, avec animations		
LED Halo / STW		LED STW + animations				LED Halo		
Icon display		Oui				Oui		
LED ambiantes (dashboard + portes avant)		prolonge LED STW						
Hologramme				Oui, remplace Icon Display				

Tableau 1 : Tableau de présentation des 8 configurations IHM du projet et liens avec les 2 personae et les 4 types de véhicule associés.

Dans le projet, on distingue 2 types de configurations d'interface :

- L'interface de référence essentiellement visuelle, désignée *Baseline*, s'appuie les éléments suivants :
 - Des icônes et textes affichés sur le tableau de bord placé derrière le volant.
 - Un afficheur tête haute réplique l'essentiel de ces informations en bas de pare-brise, en L0, L1 et L2, et en AD seulement lors des demandes de reprise en main.
 - Des sons vocaux et non vocaux, spatialisés, émis par les hauts parleurs de série.
 - Une LED unique, au niveau du rétroviseur extérieur, indique la présence d'un véhicule dans l'angle mort.
 - Le volant est équipé d'un écran tactile qui inclut les commandes des différents niveaux. Le couple résistant du volant est augmenté en AD.
- L'interface multimodale, désignée *CMI*, bénéficie des ajouts suivants par rapport à l'interface *Baseline* (Figure 6) :
 - Un à-coup dans le volant est déclenché lors des transitions entre les niveaux d'automatisation impliquant L2.
 - Des vibrations sont émises dans le dossier et l'assise du siège lors des demandes de reprise en main.
 - Des LED placées en bas des vitres avant et du pare-brise permettent de créer des animations en particulier pour suivre les véhicules lors des demandes de reprise en main (*LED localisées*).
 - Une bande de LED (*LED halo*) placée en bas de pare-brise est allumée en AD.
 - Un ensemble de LED en milieu de pare-brise affiche en AD l'icône représentant le buste d'un chauffeur et le compte à rebours du temps disponible en AD (*Icon display*).

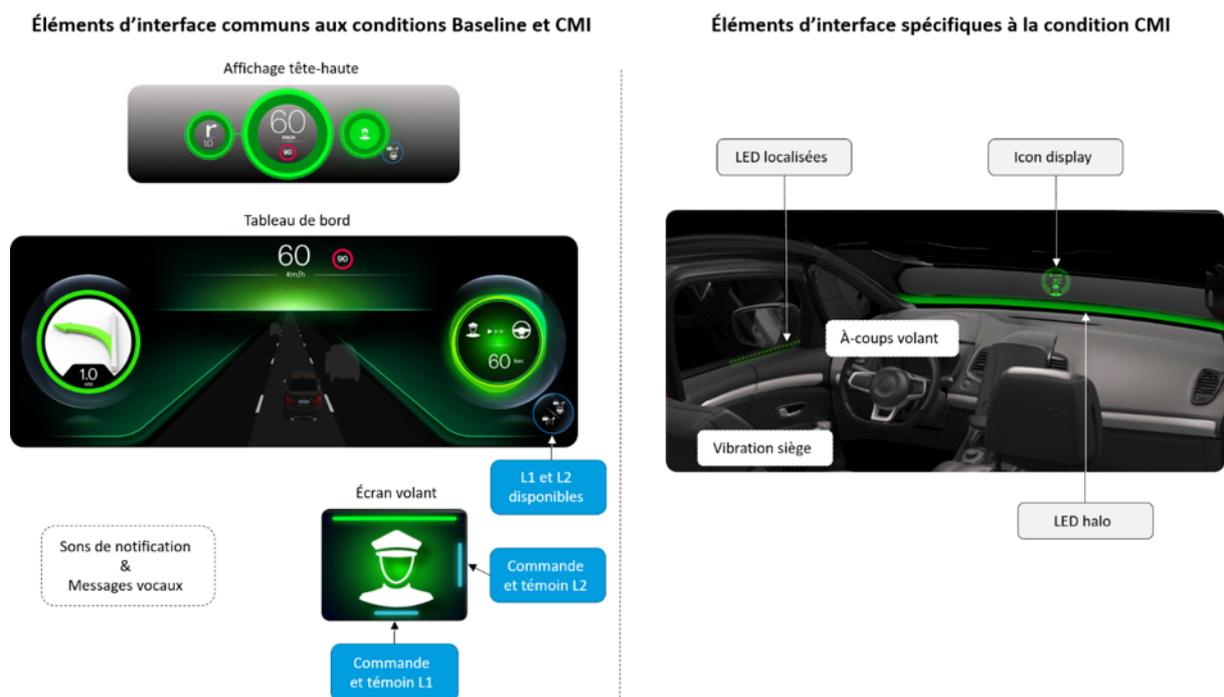


Figure 6 : Représentation de l'interface CMI lors de la demande de reprise en main en 60s.

Les expérimentations

Au cours du projet, ce sont au total 4 campagnes expérimentales qui ont été mises en place pour tester et comparer les différentes configurations IHM.

Pour cela, un cockpit a été construit sur la base d'une voiture Renault Espace dans un simulateur de conduite immersif (Figure 7). Ce cockpit pouvait être configuré pour simuler l'un des 4 types de véhicule décrits dans le tableau 1.

Chaque campagne de test correspond ainsi à un type de véhicule pour laquelle 2 configurations IHM sont comparées, l'une représentant la Baseline, l'autre l'interface multimodale CMI.

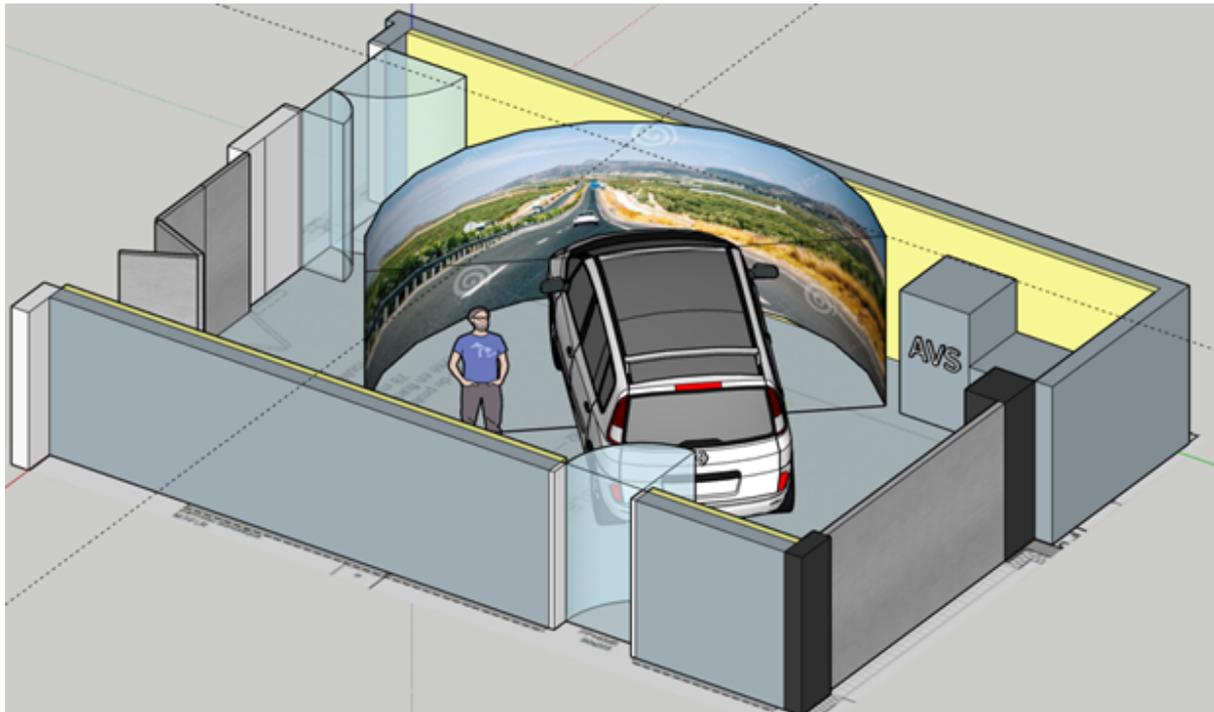


Figure 7 : Schéma du véhicule dans l'environnement de simulation et de zone expérimentale

Des protocoles de tests ont été développés pour recueillir des métriques à la fois quantitatives (par exemple les niveaux de confiance des participants, leur charge cognitive, la qualité des reprises en main, etc) et qualitatives (par exemple, la compréhension des IHM, l'expérience utilisateur associée à l'usage du cockpit, etc). Ces métriques, indices du facteur humain, ont été relevés dans des situations contrôlées. Afin de garantir un niveau de représentativité de la répétabilité des recueils de ces métriques, le projet s'est appuyé sur la présentation aux participants d'un support commun de base de connaissances sur le véhicule automatisé. Un tutoriel animé, puis une phase de prise en main du véhicule ont été suivis en amont du premier test utilisateur.

Au cours de l'expérimentation, les participants étaient confrontés à divers scénarios illustrant des situations de conduite usuelles sur voie rapide (Figure 8) en trafic plus ou moins dense. Durant la majeure partie des scénarios, le niveau AD était disponible et les participants étaient invités à l'utiliser au maximum. Au cours de cette phase, les participants avaient accès à un smartphone équipé du jeu 2048 et avaient comme consigne de tenter d'obtenir le meilleur score. Après la phase de conduite AD, selon le scénario, le système demandait une reprise en main en 60s (par exemple, à l'arrivée à un péage ou à un embranchement d'autoroute) ou une reprise en main urgente en 10s (par exemple à cause d'une panne de capteur utilisé par le système d'automatisation). Les participants étaient invités à conduire comme s'il s'agissait de leur véhicule personnel, et à utiliser le mode de conduite qui leur semblait approprié à la situation. Les conducteurs étaient encouragés à suivre les recommandations et les invitations de l'IHM pour activer l'AD et reprendre la main lorsque le système d'assistance à la conduite le leur demandait.



Figure 8 : Un des environnements de simulation routière développés Nervtech et AVSimulation pour le projet, ici sans trafic.

Les protocoles expérimentaux ont relevé les métriques comportementales comparées aux situations de référence et également des données qualitatives sur la forme d'entretiens d'explicitation et de questionnaires adressés aux participants pendant ou à l'issue des expérimentations. Ces métriques étaient enrichies par le recueil de données physiologiques (électrocardiogramme et conductivité électrodermale). En tout, ce sont plus de 150 conducteurs qui ont participé à l'étude dans diverses sessions (voir Figure 9).

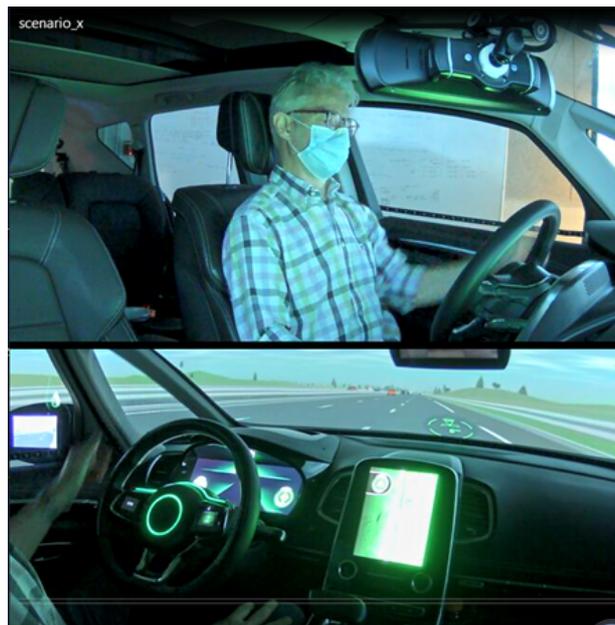


Figure 9 : Exemple de situation expérimentale avec un participant

En résumé, le projet s'est donné les moyens d'étudier l'intérêt que pouvaient avoir des IHM multimodales auprès de conducteurs représentatifs pour soutenir un certain nombre de leurs fonctions cognitives et ainsi leur permettre d'utiliser sereinement les systèmes d'automatisation de la conduite.

Dans la suite de l'article, nous allons décrire plus en détail les travaux des 4 campagnes de tests se focalisant chacune sur des personae présentés précédemment. Nous reviendrons en particulier sur les questions de recherche spécifiques à chaque profil de conducteur, les choix de conception d'IHM associés et les résultats issus des protocoles expérimentaux mis en œuvre.

3 - L'attention périphérique pour la conscience des niveaux partiellement automatisés

Les niveaux de conduite partiellement automatisés (L1, L2), d'ores et déjà disponibles sur les véhicules de série, prennent en charge la direction et la vitesse du véhicule. Ces systèmes peuvent cependant cesser leur activité lorsqu'une de leurs limites de fonctionnement est atteinte. L'enjeu est donc pour le conducteur d'avoir à tout moment conscience de l'état des systèmes automatisés, en particulier lorsque ceux-ci se suspendent. En effet, le conducteur doit alors reprendre la partie de la conduite cédée au système (exemple : contrôler la trajectoire lorsque LC se suspend). Cependant, afin de superviser l'activité du système, la vision centrale du conducteur est focalisée sur la route. D'autres modalités sensorielles telles que la vision périphérique, l'audition ou le toucher (à travers des signaux haptiques), peuvent permettre de recevoir des informations sur l'état des systèmes automatisés. Le but de cette étude était d'attirer l'attention du conducteur, jusqu'alors focalisée sur la route, vers l'état des systèmes automatisés grâce à des modalités de présentation autres que la vision centrale. Pour cela, l'interface *Limits_CMI* (Tableau 1) présentée en Section 2 a été développée.

Lorsque les conducteurs utilisent un système automatisé, ils se basent sur leurs connaissances du fonctionnement du système pour anticiper ses réactions face aux situations rencontrées. Des icônes visuelles peuvent, en pratique, aider le conducteur à percevoir, comprendre, et anticiper l'état de leurs systèmes automatisés. Cependant, si elles sont la seule IHM disponible, comme dans les véhicules actuels, les conducteurs doivent à la fois surveiller l'environnement routier et regarder ces icônes dans leur tableau de bord, ce qui surcharge leurs capacités attentionnelles. Les interfaces sonores et tactiles peuvent être perçues et comprises en même temps que des informations visuelles sont traitées. Pour cette raison, une interface multimodale visuelle, auditive et proposant des retours haptiques permettrait d'orienter l'attention du conducteur sur les informations d'état des systèmes automatisés sans perturber la surveillance de la route.

Les systèmes d'automatisation de la conduite ACC et LC ont des limites de fonctionnement qui peuvent être rencontrées dans des trajets quotidiens. L'ACC est capable d'adapter sa vitesse à un véhicule lent sur autoroute du moment que le différentiel de vitesse avec ce véhicule n'excède pas les 100 km/h. En complément, le LC est capable de contrôler la trajectoire du véhicule dans la plupart des virages, sauf lorsque le rayon est serré. Le LC nécessite également un marquage au sol de qualité suffisante, sans quoi les caméras ne les détectent pas. Les conditions météorologiques peuvent également impacter la détection des lignes et des véhicules suivis, notamment lorsque du brouillard est présent. Lors de ces situations, les informations numériques recueillies par le véhicule permettent d'estimer la capacité du système à rester actif. En d'autres termes, il est possible d'estimer l'approche des limites des systèmes automatisés sur ces situations et de la représenter aux conducteurs par le biais d'un indicateur. Des indicateurs de ce type se sont montrés efficaces pour améliorer les connaissances sur les systèmes automatisés. De plus, ils peuvent être représentés en périphérie de la vision centrale pour éviter les distractions.

Dans le cadre de cette campagne de test, le cockpit était configuré en *Cockpit_Limits* pour représenter un véhicule MD et la configuration d'interface multimodale associée était *Limits_CMI*. Trois objectifs principaux étaient visés. Le premier objectif était de déterminer si une interface exploitant des modalités sensorielles alternatives en supplément de la vision permettait d'orienter l'attention sur l'état des systèmes automatisés. Le second objectif était de vérifier si une telle interface aidait à mieux comprendre l'état des systèmes automatisés. Enfin, le dernier objectif était d'étudier si la confiance dans l'automatisation était influencée par la proposition d'IHM intégrant de nouvelles modalités.

40 participants âgés de 40 à 65 ans, dont le profil correspondait au persona Iris, ont conduit dans le cockpit CMI durant 3 séances de conduite d'environ 1h30 chacune. Ils ont été confrontés à des scénarios de conduite mélangeant des situations de virages serrés, de bouchon, de brouillard et de marquage effacés. Les conducteurs devaient anticiper ou réagir à des suspensions des automatisations en contrôlant le véhicule. La moitié des participants possédait l'interface de référence *Limits_Baseline*, représentative de celles présentes dans les véhicules actuels. L'autre moitié possédait l'interface *Limits_CMI* développée par le projet dans une configuration intégrant des informations visuelles, auditives, tactiles, et qui indiquait l'approche des limites des systèmes automatisés (Tableau 2).

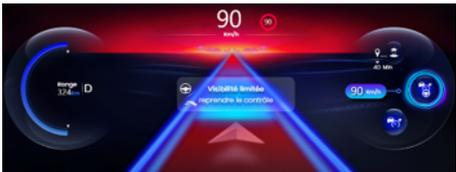
Niveau d'approche des limites	Suspension de l'ACC et de LC	Suspension de LC
Limites moyennement proches		
Limites très proches		

Tableau 2 : Interface du tableau de bord indiquant les différents degrés d'approche des limites des systèmes automatisés, en fonction du système qui approche ses limites.

Les résultats mettent en avant une orientation de l'attention sur le tableau de bord avant la suspension des automatisations pour le groupe ayant l'interface *Limits_CMI*, indiquant une meilleure anticipation des situations critiques. Leurs connaissances sur le fonctionnement des systèmes automatisés étaient également meilleures. Leur confiance dans le système automatisé a significativement augmenté au fur et à mesure des sessions de conduite, ce qui n'était pas le cas pour le groupe possédant une interface visuelle classique.

En revanche, certains signaux sonores de l'interface multimodale n'ont pas été perçus ou n'étaient pas désirés par les conducteurs. Une réduction du nombre des signaux sonores est donc recommandée pour améliorer la compréhension et l'acceptabilité des messages. Concernant l'interface d'approche des limites (présenté Tableau 1), les conducteurs rapportent exploiter principalement la couleur et la taille de l'indicateur visuel comme information. La compréhension du système à l'origine de la suspension, symbolisé par la localisation des halos lumineux, était faible. Ces résultats suggèrent qu'une simplification de l'indicateur pourrait être réalisée en n'exploitant qu'une seule zone d'affichage de halos lumineux (préférentiellement celui de la colonne *Suspension de LC* du Tableau 2).

Dans l'ensemble, ces résultats montrent l'intérêt d'une interface multimodale indiquant l'approche des limites des systèmes automatisés. Une telle interface permet d'améliorer l'interaction avec les systèmes automatisés actuellement en circulation. Les technologies sur lesquelles cette interface

repose sont déjà présentes dans les véhicules, ou pourraient être intégrées à bas coût. Leur présence contribuera à rendre l'utilisation de l'ACC et du LC plus confortable pour les conducteurs.

L'étude rapportée dans cette section a été menée dans le cadre de la thèse Cifre Renault de Noé Monsaingeon, encadrée par le laboratoire Cognition, Langues, Langage, Ergonomie (CLLE, Toulouse). Les articles publiés dans le cadre de cette thèse sont listés dans la section *Références*.

Afin d'étudier la pertinence du recours à la multimodalité sensorielle pour d'autres niveaux d'automatisation, le projet CMI s'est intéressé à l'introduction de ces mêmes modalités en AD, pour des personnes moins confiantes et non connaisseurs de la technologie. Les travaux associés sont présentés dans la section suivante.

4- La conscience de la situation pour la reprise en main

Pour répondre aux attentes des clients peu confiants vis-à-vis de niveaux de conduite partiellement automatisée (L1 et L2) mais attirés par le confort de délégation offert par la conduite automatisée, le projet s'est intéressé à une configuration de véhicule uniquement équipé des niveaux LO et AD.

Le projet a considéré, pour cette section 4 et la suivante, le cas d'un AD uniquement disponible sur autoroute, jusqu'à 130km/h : la main est redonnée au conducteur pour prendre la prochaine sortie. Afin d'assurer l'acceptabilité de ce système de conduite, il est fondamental d'accompagner les conducteurs peu confiants pour :

- les inciter à laisser la main au système,
- les rassurer en leur montrant que l'AD contrôle le véhicule et les inviter à se détacher de la scène de conduite.

Lorsque l'AD n'a plus la capacité d'assurer la tâche de conduite, il alerte le conducteur qui doit alors reprendre le contrôle du véhicule. L'enjeu est que le conducteur soit accompagné efficacement par l'IHM pendant la phase de transition afin d'avoir une bonne conscience de la situation au moment de la reprise en main, en particulier lorsqu'elle est initiée par le système, interrompant le conducteur dans son activité de vie à bord. Du point de vue du conducteur, cette phase de transition de la conduite AD vers MD consiste en deux boucles parallèles :

- Une boucle cognitive de reconstruction de la conscience de la situation qui consiste à percevoir un certain nombre d'éléments de l'environnement de conduite, de comprendre leur signification et de projeter leur évolution dans le futur. Ce travail mental permet au conducteur d'élaborer une stratégie de reprise en main.
- Une boucle sensori-motrice de reprise du contrôle du véhicule en agissant sur les commandes du véhicule (les pédales et le volant).

Les études passées portant sur la reprise en main montrent qu'une durée comprise entre 5 et 10s est nécessaire au conducteur pour prendre connaissance de la situation, élaborer une stratégie de reprise en main et la mettre en œuvre. Ce temps moyen est fortement dépendant de facteurs extérieurs comme l'empan temporel alloué au conducteur pour la reprise en main, le type d'activité réalisée pendant la conduite en AD, le stress, la fatigue, ou d'autres facteurs. Une des pistes possibles d'aide à la reconstruction de la conscience de la situation au moment de la demande de reprise en main est le recours à la multimodalité sensorielle qui a pour effet d'accélérer le traitement cognitif de l'information et ainsi réduire le temps de reprise en main. En complément, la diversification des modalités sensorielles permet de faciliter l'usage du véhicule : l'ouïe et le toucher favorisent la détection des alertes et les stimuli visuels aident à leur compréhension. En combinant différents

signaux, il est ainsi possible de favoriser la reconstruction de la conscience de la situation et d'améliorer l'expérience utilisateur.

Dans le cadre de cette campagne de tests, le cockpit CMI a été configuré en *Cockpit AD simplifié* et équipé de l'IHM multimodale *Roberto_CMI* (Tableau 1) dont le rôle était de guider les conducteurs dans les phases de transitions AD-MD et inversement (Figure 10). Le premier objectif visait à déterminer si l'introduction de la multimodalité sensorielle rendait l'expérience de conduite satisfaisante en toute situation. Le second objectif s'attachait à confirmer que le conducteur ne perçoive que les stimuli sensoriels qui lui sont utiles pour construire sa conscience de la situation. Enfin, le dernier objectif consistait à étudier l'influence de la multimodalité sensorielle sur la confiance dans l'automatisation.



Figure 10 : Exemple d'illustration d'une situation de demande de reprise en main en 60s à l'approche d'un péage avec l'IHM Roberto_CMI

Pour valider ces hypothèses, 24 participants, âgés de 25 à 65 ans, correspondant au persona Roberto et représentatifs de la population française (équilibre homme-femme et répartition des profils en 3 catégories d'âges) ont participé à une expérimentation sur le cockpit CMI d'une durée de 3h. Ils ont été confrontés à 2 scénarios illustrant des situations de conduite usuelles sur voie rapide en trafic peu dense et se terminant alternativement par une reprise en main en 60s à l'approche d'une sortie d'autoroute ou une reprise en main urgente en 10s à cause d'une panne de capteur.

Les résultats montrent que, dans des situations de conduite non stressantes (activation de l'AD, conduite sur voie rapide en trafic peu dense, reprise en main en 60s), l'IHM multimodale est utile et appréciée. Les participants ont été réceptifs à l'utilisation de LED sur le volant pour indiquer le transfert de contrôle du conducteur vers la voiture au moment de l'activation de l'AD (Figure 11). Par ailleurs, l'accompagnement graduel par la combinaison de signaux vibratoires, sonores et visuels pendant la reprise en main en 60s a plu. Cela a aidé les conducteurs à prendre le temps de quitter l'activité non liée à la conduite pour reprendre conscience de la situation avant la reprise en main. De plus, les commentaires recueillis pendant les entretiens confirment que les conducteurs perçoivent ou n'interprètent que les modalités qui leur sont utiles pour comprendre les messages transmis par le véhicule ou pour analyser leur environnement. Enfin, la confiance des participants dans l'AD a significativement augmenté entre le début et la fin du test et la majorité des personnes ayant testé le cockpit se dit prête à passer le cap de la conduite automatisée.



Figure 11 : Exemple d'illustration de l'animation des LED sur le volant en configuration Roberto_CMI dans une situation de demande de reprise en main. La jante du volant se met à clignoter pour inciter le conducteur à repositionner ses mains sur le volant. A l'issue de cette action la jante s'éteint au profit des branches pour signifier au conducteur la bonne prise en considération de son action.

En revanche, pour les situations de reprise en main d'urgence en 10s, bien que le comportement de conduite des participants soit acceptable (ces derniers n'ont pas de comportement dangereux et leur manœuvre ne résulte pas en un accident), les conducteurs ont rapporté une expérience de conduite très inconfortable et stressante. Contrairement à notre hypothèse, notre IHM multimodale n'a pas réussi à rassurer les conducteurs ni à leur faire percevoir les informations plus rapidement. Au contraire, l'ajout de signaux haptiques ainsi que des animations de LED sur le volant a dispersé leur attention, ce qui a eu pour conséquence d'allonger leur temps de reprise en main. Les résultats issus des entretiens montrent que seule la moitié des participants a réussi à comprendre qu'il s'agissait d'une reprise en main urgente et à agir en conséquence.

Ainsi, dans l'ensemble, ces résultats confortent l'intérêt de la multimodalité sensorielle dans la facilitation de la prise en main d'un véhicule équipé d'un AD. Si dans des situations non stressantes de conduite, la multimodalité a un effet bénéfique sur la conscience de la situation, une attention particulière doit être portée aux situations stressantes telles que les reprises en main d'urgence en 10s. Enfin, si les études portant sur la reprise en main montrent qu'un empan temporel de 10s est suffisant pour reprendre la main en situation d'urgence, les résultats du projet CMI semblent indiquer que cette durée est insuffisante. Dans ces situations où une forte pression temporelle est imposée par le système, il est important de travailler l'IHM multimodale différemment (par exemple en limitant le nombre de modalités ou en retravaillant leur localisation dans le cockpit) pour ne pas surcharger les conducteurs d'informations et disperser leur attention. La pression temporelle persistera mais une telle IHM devrait éviter de dégrader l'expérience utilisateur.

Les travaux présentés dans ce paragraphe illustrent comment le projet a proposé d'utiliser la multimodalité sensorielle pour améliorer la conscience de la situation des conducteurs au moment de la reprise en main de la conduite. Les profils de conducteurs visés dans cette expérimentation étant peu confiants, le projet a également souhaité traiter la thématique de la construction de la confiance, notamment lorsque l'automatisation de la conduite est activée. La section suivante de l'article présente les travaux associés à ce facteur humain.

5-Construire la confiance grâce à un assistant virtuel

Dans cette section, nous nous intéressons toujours au persona Roberto, conducteur d'un véhicule uniquement équipé du système AD. Contrairement à la section précédente, le projet a fait le choix de traiter le cas des conducteurs attirés par l'automatisation mais dont la confiance a priori est moyenne voire basse. Ce profil de conducteur a besoin d'être non seulement guidé pour reprendre la main mais aussi d'être rassuré lorsque le système effectue des manœuvres. L'enjeu est ici de créer la confiance dans le système. Pour cela, le projet a choisi d'incarner le système d'automatisation de la conduite sous la forme d'un assistant anthropomorphique, holographique et vocal. Cet assistant endosse le rôle de chauffeur, qui remplace le conducteur dans la tâche de conduite lorsque les conditions le permettent.

Nous allons présenter les orientations que nous avons prises d'une part pour concevoir cet assistant virtuel afin que celui-ci soit perçu comme anthropomorphique et digne de confiance, et, d'autre part, pour évaluer si les utilisateurs le perçoivent comme tel. Dans le cadre du projet, la confiance est définie comme un état psychologique d'attentes résultant de connaissances et d'évaluations relatives au référent de la confiance de l'utilisateur dans un contexte spécifique, et orientant sa décision d'utiliser le contrôle automatique. Quant à la notion de l'anthropomorphisme, elle est définie comme la tendance humaine à projeter des capacités et traits humains (tels que la personnalité, les sentiments, la pensée rationnelle) ou à attribuer des intentions à des machines ou des objets inanimés.

Pour valider ces hypothèses nous avons, dans un premier temps, choisi l'apparence visuelle de l'assistant en évaluant l'impact de différentes représentations visuelles sur la perception d'anthropomorphisme et de confiance. Notre choix s'est porté sur une représentation de type Automate-Humain. Cela est le résultat d'un questionnaire en ligne avec 146 participants. Cette représentation a ensuite été intégrée en trois dimensions dans le cockpit sous la forme d'un hologramme (Figure 12).



Figure 12 : La représentation 3D de l'assistant et son intégration sous forme holographique dans le cockpit

Au cours d'un scénario de conduite, cet assistant se manifeste, visuellement et vocalement. Le projet a fait le choix de faire apparaître l'hologramme uniquement en AD et lors des transitions de mode

pour assurer le guidage et rassurer le conducteur (Figure 13). En effet, l'impact sur la distraction visuelle fait que sa présence serait probablement inadaptée en conduite MD.



Figure 13 : Exemple de situation de guidage du conducteur à l'activation de l'AD. Dans cette situation, l'assistant apparait pour signaler au conducteur de retirer son clignotant avant de procéder à l'activation de l'AD.

Pour évaluer l'efficacité de l'assistant virtuel, nous avons mené une expérimentation visant à comparer une interface multimodale de référence (l'interface *Roberto_CMI* présentée en section 4) avec deux interfaces intégrant chacune une configuration de l'assistant virtuel : *Assistant_Vocal*, représentant un assistant uniquement vocal, et *Assistant_Visuel* y ajoutant la représentation holographique.

Les tests ont été conduits sur le cockpit du projet en configuration *Cockpit AD Assistant*. Les participants ont été confrontés à 2 scénarios de conduite illustrant des situations usuelles sur voie rapide en trafic peu dense et se terminant alternativement par une reprise en main en 60s à l'arrivée d'un péage ou une reprise en main urgente en 10s en raison d'une panne de capteur. 36 personnes ont participé à l'expérimentation. Elles étaient réparties en trois groupes de 12 personnes qui ont chacun été formés à l'usage du cockpit avant d'expérimenter l'une des trois interfaces.

Les résultats montrent que la perception d'anthropomorphisme ne s'accroît pas entre l'intervention uniquement vocale de l'assistant et sa combinaison vocale et visuelle. En revanche, une corrélation significative vient confirmer l'impact de la perception d'anthropomorphisme sur la confiance.

Les résultats montrent que la configuration *Assistant_Vocal_Visuel* peut inciter le conducteur à réagir plus vite dans une situation de demande de reprise en main en 60s à l'initiative du système. En revanche, dans le cas d'une demande de reprise en main en 10s causée par une défaillance de capteur, l'assistant virtuel comme il a été conçu et intégré dans le cockpit par le projet n'apporte pas de valeur ajoutée

Concernant la perception d'anthropomorphisme, nous avons observé que la représentation visuelle de l'assistant virtuel est une interface efficace mais non nécessaire pour l'obtention d'un bon niveau d'anthropomorphisme. En effet, les éléments utilisés dans l'interface de référence *Roberto_CMI* (une représentation visuelle iconique, des messages vocaux brefs) apparaissent suffisants pour obtenir un bon niveau d'anthropomorphisme perçu.

Enfin, en ce qui concerne la confiance, les résultats montrent qu'il y a bien une différence significative entre les niveaux de confiance avant et après l'expérimentation pour les participants des trois groupes. En revanche, en comparant les groupes entre eux, nous constatons une différence significative entre le groupe ayant testé l'interface de référence *Roberto_CMI* et les 2 autres groupes *Assistant* au début de l'expérimentation et à la fin de la séance d'entraînement, mais pas au cours de l'expérimentation et à la fin. Ce résultat signifie qu'un facteur autre que la variation de l'interface influe sur la variation du niveau de confiance des participants. Ce facteur pourrait être lié aux conditions initiales de recrutement. En effet les groupes *Assistant_Vocal* et *Assistant_Visuel* ont une confiance initiale plus faible que ceux du groupe ayant testé l'interface de référence.

Les résultats issus de cette section confirment l'intérêt du recours à la multimodalité sensorielle pour la construction de la confiance mais soulèvent la question de l'intérêt de la représentation visuelle anthropomorphique du système de conduite automatisé (AD.) Comme présenté en section 2, le cockpit développé dans le cadre du projet est doté de quatre niveaux de conduite. Dans cette section, pour répondre aux attentes du profil Roberto nos expérimentations portaient uniquement sur les niveaux 0 et AD.

L'étude rapportée dans cette section a été menée dans le cadre de la thèse IRT de Clarisse Lawson-Guidigbé, encadrée par l'École Nationale Supérieure de Cognitique (ENSC, Bordeaux). Les articles publiés dans le cadre de cette thèse sont listés dans la section *Références*.

La section suivante présente les travaux appliqués au profil Iris qui a accès à la totalité des niveaux d'automatisation.

6-La conscience de la situation et la conscience des niveaux automatisés

Le projet a également considéré le cas d'un véhicule équipé de tous les niveaux d'automatisation (L0, L1, L2 et AD) car cela sera le cas d'usage le plus probable des premiers véhicules équipés d'un AD, en raison de l'introduction progressive de l'automatisation de la conduite. Le projet s'est appuyé sur les feuilles de route de ses partenaires RENAULT et Valeo pour définir le périmètre technique du fonctionnement de ce futur véhicule. En particulier, il est envisagé que sur les premiers véhicules de série en France, le système AD soit programmé pour remplacer le conducteur dans des zones d'embouteillage, à vitesse réduite (maximum 60km/h), sans changement de voie. Cette technologie a été introduite par Mercedes, premier constructeur à avoir reçu l'homologation niveau 3 SAE en Allemagne en mai 2022 pour son système *Drive Pilot*, qui s'appuie sur un fonctionnement similaire à celui présenté ci-dessus.

Pour ce type de véhicule, adapté pour le persona Iris, la difficulté principale réside dans l'évolution du rôle du conducteur entre les différents niveaux d'automatisation. Afin d'assurer la sécurité des passagers du véhicule et des autres usagers de la route, l'enjeu est de s'assurer que le conducteur est à tout moment conscient du mode en cours, en particulier lors des transitions d'AD vers MD (Lu & de Winter, 2015). Les enjeux cognitifs associés sont ceux identifiés dans les sections 3 et 4 : l'attention périphérique pour la conscience des modes et la conscience de la situation au moment de la reprise en main. Pour répondre à ces enjeux, le projet a travaillé sur deux verrous.

Le premier verrou concerne la représentation du mode en cours et la conscience de la situation : comment faire comprendre au conducteur quel niveau d'automatisation est activé ? Quelles sont ses responsabilités associées ? Comment utiliser la multimodalité sensorielle pour favoriser la conscience

du mode et de la situation ? En réponse, le projet a développé la configuration d'IHM multimodale *Iris_CMI* (Tableau 1) dont les combinaisons colorimétriques et spatiales diffèrent selon le niveau d'automatisation choisi. Ainsi, le bleu représente les niveaux partiellement automatisés (L1 ou L2). Pour ces deux niveaux, les informations visuelles sont transmises par l'intermédiaire du tableau de bord, et l'attention périphérique du conducteur est sollicitée à travers des signaux haptiques dans le volant et des sons dans l'appuie tête (Tableau 3). L'objectif est d'aider les conducteurs à comprendre quel niveau partiellement automatisé est activé et quelles sont les actions effectuées par le système.

En opposition, en AD, c'est le vert qui a été retenu. Le conducteur n'étant plus responsable de la conduite, l'information est transmise par l'enveloppe du véhicule à travers des sons spatialisés dans l'habitacle, des vibrations dans le siège du conducteur et des LED localisées dans les vitrages et sur le pare-brise (ces LED, positionnées en bas de vitrage, s'allument de façon à être superposées à l'objet extérieur sur lequel il convient que le conducteur porte son attention). L'objectif est ici de concentrer l'attention du conducteur sur l'environnement extérieur pour favoriser sa conscience de la situation et le préparer à une demande de reprise en main du système.

Niveau d'automatisation	Niveaux partiellement automatisés (L1 ou L2)	Niveau hautement automatisé (AD)
Couleur de l'IHM	 Bleu	 Vert
Position de l'IHM	 Centrée sur le volant + tableau de bord	 Déployée sur l'enveloppe du véhicule
Contenu informatif	État du mode, effet des actions du conducteur	État de l'environnement, actions attendues du conducteur

Tableau 3 : Comparaison des représentations de l'IHM entre les configurations *Iris_Baseline* et *Iris_CMI*

Le second verrou portait sur l'expérience utilisateur associée à ce nouveau type de véhicule : comment s'assurer que l'ajout de l'AD ne dégrade pas l'expérience utilisateur et la sécurité d'un conducteur déjà habitué à utiliser des niveaux L0, L1 et L2 ? Un des moyens adoptés par le projet est la simplification des transitions entre les niveaux, en particulier au moment de la reprise en main à la demande du système. Techniquement, cela se traduit par la possibilité offerte au conducteur de transiter d'AD vers L1 ou L2 par un simple appui sur leur commande d'activation, et ce, sans passer par L0. Cette simplification, à l'état exploratoire dans le projet, a pour objectif d'orienter la politique technique des constructeurs pour les futurs véhicules équipés de plusieurs niveaux d'automatisation.

Dans cette campagne de test, la configuration du cockpit retenue est *Cockpit du futur* intégrant les 4 niveaux d'automatisation. Trois objectifs principaux étaient associés. Le premier objectif visait à étudier l'expérience utilisateur globale permise par l'ajout de la multimodalité sensorielle dans l'usage d'un véhicule équipé des 4 niveaux conjoints. Le second objectif consistait à vérifier que l'introduction de l'IHM multimodale *Iris_CMI* aidait à la conscience du niveau activé et à la conscience de la situation. Enfin, le dernier objectif était de déterminer si les choix techniques de conception du *Cockpit du futur* (AD réservé à l'assistance dans les embouteillages et simplification des procédures de transition entre AD et L1/L2) étaient utiles et appréciés des conducteurs et si cela n'augmentait pas le risque de confusion de niveau.

Pour évaluer cette configuration, 24 participants, âgés de 25 à 65 ans, correspondant au persona Iris et représentatifs de la population française (équilibre homme-femme et répartition des profils en 3 catégories d'âges) ont participé à une expérimentation d'une durée de 3h sur le cockpit CMI. La moitié des participants possédait l'interface de référence *Iris_Baseline* (sans multimodalité, mais avec une différence des couleurs pour distinguer les modes de conduite). L'autre moitié testait l'IHM multimodale *Iris_CMI*. Les participants ont été confrontés à 2 scénarios illustrant un trajet de conduite sur voie rapide en trafic dense. Après une insertion sur la voie rapide, les participants entraient dans un embouteillage et pouvaient activer l'AD. A la fin de la conduite AD, selon le scénario, le système pouvait demander de reprendre la main en 60s (pour changer de voie et suivre la destination programmée par la navigation) ou en 10s car la vitesse maximale de disponibilité de l'AD était dépassée (en raison de la disparition de l'embouteillage).

Les résultats montrent que, de manière générale, l'ajout de la multimodalité sensorielle contribue à améliorer l'expérience utilisateur des conducteurs, en particulier en AD ou pendant les demandes de reprise en main en 60s. Bien que l'expérience se dégrade lors des demandes de reprise en main urgentes en 10s à cause d'une pression temporelle forte, elle reste plus élevée dans le groupe ayant testé l'IHM *Iris_CMI* que dans le groupe de référence.

La multimodalité a également un effet bénéfique sur la compréhension du niveau d'automatisation activé. Les conducteurs ayant testé l'IHM multimodale ont exprimé avoir une bonne compréhension de leur rôle dans chacun des 4 niveaux d'automatisation. Cela s'est traduit par moins de marques de confusion et moins d'erreurs de manipulation du système (par exemple, l'erreur consiste à freiner alors que L1 est activé) que les conducteurs du groupe de référence dans les 2 scénarios testés. Dans les entretiens, les participants ont rapporté avoir apprécié le guidage apporté par les différentes modalités sensorielles, notamment le clivage entre les niveaux partiellement automatisés (L1 et L2) et l'AD. Les signaux haptiques ont été utiles et appréciés, en particulier pour indiquer les transitions entre les niveaux L2 et AD.

En revanche, il est important de noter la présence de confusions entre les niveaux L1 et L2, dont les représentations étaient très similaires dans l'IHM. Par ailleurs, l'IHM multimodale n'a pas eu l'effet attendu dans l'aide à la reconstruction de la conscience de la situation. Si les résultats montrent que les conducteurs ayant testé la configuration *Iris_CMI* perçoivent mieux les informations de l'environnement de conduite à l'issue de la reprise en main que les conducteurs du groupe *Iris_Baseline*. En revanche, il n'y a pas de différence notable avec le groupe de référence *Iris_Baseline* pendant la demande de reprise en main. Les participants des deux groupes ont une conscience de la situation équivalente dans cette étape du scénario.

Enfin, les choix techniques du projet ont été appréciés. Contrairement à nos hypothèses, les conducteurs déjà utilisateurs de L1 et L2 ont apprécié le confort apporté par l'AD dans les embouteillages. Les études sur les marques de confusion et les observations pendant les phases de roulage montrent que l'ajout d'AD n'induit pas de confusion ni ne complexifie l'usage du véhicule.

Ces résultats, bien que peu tranchés pour certaines hypothèses, confortent l'intérêt de l'utilisation de la multimodalité sensorielle pour améliorer l'expérience utilisateur des futurs véhicules équipés de plusieurs niveaux d'automatisation. L'introduction d'un niveau de conduite supplémentaire aux niveaux déjà existants sur des véhicules de série amène à repenser la présentation graphique de chacun de ces niveaux dans l'habitacle pour mieux les différencier. Si l'emploi de la multimodalité sensorielle est un levier d'action, des simplifications techniques peuvent également être apportées lors la conception de la voiture. Le projet a ainsi aidé à clarifier les politiques techniques de ses partenaires en montrant l'intérêt de simplifier les transitions entre les différents niveaux d'automatisation, mais d'autres approches sont également envisageables comme la suppression de L1 ou L2 au profit d'un niveau unique, partiellement automatisé et paramétrable par le conducteur.

7-Conclusion sur les technologies IHM

L'ensemble des expérimentations menés par le projet CMI permet de tirer des conclusions sur les technologies utilisées pour créer les IHM relatives à l'automatisation de la conduite.

Les LED sur le volant sont déjà utilisées par certains constructeurs sur des véhicules de série (ex. Cadillac, BMW). Le projet CMI a positionné les LED sur la jante, les branches et le moyeu, si bien qu'une surface importante du volant peut être illuminée : le moyeu est ainsi allumé en permanence quand AD est actif pour le persona Roberto. Cette présence de lumière à proximité du corps n'a pas été appréciée de tous les conducteurs, si bien qu'il convient de prévoir un paramétrage pour permettre de désactiver cette IHM, ou d'atténuer sa luminosité.

Les LED placées en bas du pare-brise et des vitres avant, pour localiser les objets environnants, n'ont pas été jugées utiles lors de la reprise en main. Au contraire, elles peuvent avoir l'inconvénient de créer une surcharge cognitive pour le conducteur qui préfère se concentrer sur la scène de conduite. Ces LED peuvent certes être utiles pour interfacier le fait que le système AD est en train de faire une manœuvre (par exemple limiter sa vitesse à cause du brouillard). Cependant il est possible que l'utilité soit limitée à la phase de découverte du système, si bien qu'il conviendrait que ces LED soient désactivables.

La technologie consistant à incruster les LED dans le verre pour créer une zone d'affichage symbolique, avec icône de chauffeur représentant l'AD et un texte indiquant le temps restant dans ce niveau, a été appréciée. En effet, contrairement aux afficheurs tête haute présents dans les véhicules de série, qui projettent une image visible du seul conducteur, l'image peut être ici vue par l'ensemble des passagers. Si cette zone d'affichage prend le relais de l'afficheur tête haute lorsque l'AD prend en charge la conduite, l'IHM est pleinement en cohérence avec le changement de rôle du conducteur.

Le projet a profité des potentialités offertes pour l'intégration de haut-parleurs dans l'appuie tête : il est en effet alors possible d'adapter la localisation du son, soit à destination du conducteur seul (ex. alertes concernant la conduite) ou à destination de l'ensemble des passagers (ex. information sonore annonçant le passage du mode manuel au mode AD, permettant aux passagers de savoir que le conducteur va être libéré de la tâche de conduite et ainsi rendu disponible pour une activité de vie à bord).

Les actuateurs permettant de créer des vibrations dans le siège ont, comme les haut-parleurs placés dans l'appuie tête, l'avantage d'être réservés au conducteur seul. Ils sont utiles pour graduer l'urgence d'un message, typiquement pour différencier une demande de reprise à 10s d'une demande à 60s. Cela signifie que ces vibrations doivent être réservées aux situations urgentes.

8-Conclusion et perspectives

Le projet a mis en place un cockpit équipé de différentes technologies afin de créer des IHM multimodales. Relié à un simulateur de conduite, ce cockpit a rendu possible l'expérience des niveaux de conduite partiellement et hautement automatisée. Il a permis de mettre à l'épreuve les IHM conçues par les partenaires du projet auprès de conducteurs, et ainsi de définir ce qu'il est pertinent d'envisager pour les futurs véhicules, après une phase de validation sur route.

L'orchestration multimodale proposée par le projet doit être simplifiée dans certains cas pour limiter la surcharge attentionnelle. Il est cependant utile de combiner certaines technologies innovantes aux technologies IHM existantes dans les véhicules de série pour aider le conducteur à avoir une meilleure conscience du mode d'automatisation actif et de la situation. Ainsi, pour l'automatisation partielle de niveau 2 (L2), il est utile d'ajouter un indicateur d'approche des limites dans le tableau de bord, détectable en vision périphérique, ainsi qu'un à-coup dans le volant qui se déclenche lorsque le système se suspend. En AD, dans un cas de reprise en main urgente en 10s, une simplification de l'IHM est requise compte tenu de la pression temporelle.

L'IHM est le moyen pour le conducteur d'interagir avec le système automatisé. Un soin tout particulier doit être porté à sa conception de telle sorte que le conducteur n'ait pas de source de confusion ou d'incompréhension car cela pourrait à terme l'inciter à ne plus utiliser le système ou à faire des erreurs en l'utilisant de façon incorrecte. Le projet a pu montrer l'impact positif d'une IHM multimodale, y compris incluant un assistant virtuel vocal et visuel, sur la confiance vis-à-vis de l'automatisation de la conduite. Autrement dit, l'IHM est un moyen de rendre attractifs les aides à la conduite, qui ont pour vocation d'améliorer le confort de la conduite.

La thématique de l'IHM multimodale pour l'automatisation de la conduite était adaptée au cadre d'un projet collaboratif. En effet les partenaires ont apporté leur expérience et leurs technologies innovantes, et ont pu mutualiser l'effort à fournir pour assurer la conception, le développement et l'évaluation des configurations d'IHM sur le cockpit.

Deux brevets ont été soumis. Plusieurs articles scientifiques ont été publiés, en particulier par les 3 doctorants qui ont pu mener à terme leur thèse dans le cadre du projet. 4 films de présentation des travaux du projet ont été tournés et sont disponibles sur Youtube.

L'approche collaborative du projet CMI a donné suite à une nouvelle collaboration entre IRT SystemX et Valeo Gestigon (une entité allemande du groupe Valeo) dans le cadre du projet européen Aware2All. Ce projet de recherche, débuté en décembre 2022 et regroupant une dizaine de partenaires industriels et académiques, a pour objectif d'étudier les interactions entre un véhicule hautement automatisé (niveau 4 ou 5 d'automatisation) et ses occupants, dans une démarche d'amélioration de l'accessibilité de ce type de véhicule aux futurs usagers. Les résultats du projet CMI viennent directement alimenter les travaux d' Aware2All, notamment via le recours à la multimodalité sensorielle pour améliorer les capacités cognitives des occupants souffrant de handicap physique ou mental et les aider à mieux prendre en main le véhicule automatisé.

9-Remerciements

Ce travail a été soutenu par le gouvernement français dans le cadre du programme national France 2030, au sein de l'Institut de recherche technologique SystemX.

Références

- Monsaingeon, N., Carli, Y., Caroux, L., Langlois, S., & Lemerrier, C. (2021). *Indicating the Limits of Partially Automated Vehicles with Drivers' Peripheral Vision : An Online Study*. In N. Stanton (Éd.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (p. 78-85). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80012-3_9
- Monsaingeon N, Caroux L, Langlois S and Lemerrier C (2023) *Multimodal interface and reliability displays: Effect on attention, mode awareness, and trust in partially automated vehicles*. *Front. Psychol.* 14:1107847. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1107847>
- Monsaingeon, N., Caroux, L., Langlois, S., & Lemerrier, C. (In Press). *Earcons to reduce mode confusions in partially automated vehicles: Development and application of an evaluation method*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 103044.
- Monsaingeon, N., Caroux, L., Langlois, S., Hurgobin, Y., & Lemerrier, C. (2020). *Driver compliance with automation reliability information regarding hazardous environmental circumstances*. *Le travail humain*, 83(4), 343-360. <https://doi.org/10.3917/th.834.0343>
- Monsaingeon, N., Caroux, L., Langlois, S., & Lemerrier, C. (2021a, juin). *Auditory feedbacks for automated driving : An evaluation method*. 21st Triennial Congress of International Ergonomics Association - IEA 2021. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03114244>
- Monsaingeon, N., Caroux, L., Langlois, S., & Lemerrier, C. (2021b, octobre). *A systematic review of mode awareness measurements for automated driving*. 7th International Conference on Driver Distraction and Inattention - DDI 2021. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03114205>
- Monsaingeon, N., Caroux, L., Mougine, A., Langlois, S., & Lemerrier, C. (2021). *Impact of interface design on drivers' behavior in partially automated cars : An on-road study*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 81, 508-521. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.06.019>
- Lawson-Guidigbe, C., Louveton, N., Amokrane-Ferka, K., LeBlanc, B., & Andre, J. M. (2020). *Impact of visual embodiment on trust for a self-driving car virtual agent: a survey study and design recommendations*. In *HCI International 2020-Posters: 22nd International Conference, HCII 2020, Copenhagen, Denmark, July 19–24, 2020, Proceedings, Part III 22* (pp. 382-389). Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-50732-9_51
- Lawson-Guidigbe, C., Louveton, N., Amokrane-Ferka, K., LeBlanc, B., & Andre, J. M. (2023). *Embodying a Virtual Agent in a Self-Driving Car*". In the *International Journal of Mobile Human Computer Interaction (IJMHCI)*. Accepted

Le projet CMI :

<https://www.irt-systemx.fr/projets/cmi/>

Les films présentant les travaux du projet :

[Découvrez le projet Cockpit Multimodal Interactif \(CMI\)](#)

[Accompagner le conducteur dans la prise en main des systèmes d'assistance automatisés](#)

[Renforcer la confiance envers les véhicules automatisés par les modalités sensorielles](#)

[Renforcer la confiance envers les véhicules automatisés avec un assistant virtuel](#)