

**Acceptabilité de la mobilité routière automatisée et connectée :**  
**Focus bibliographique 2023 sur les interfaces hommes-machines**

***Séminaire national sur l'acceptabilité de la mobilité routière  
automatisée et connectée***

Ce court document présente un focus thématique sur les aspects en lien aux interfaces hommes-machines des systèmes de transport routier automatisés. En particulier, dans la mesure où les premiers véhicules équipés de systèmes d'aide à la conduite sont commercialisés, des études s'intéressent à l'usage de ces systèmes par les conducteurs.

La focalisation est faite en particulier sur les passagers, en l'occurrence la plupart du temps les conducteurs, dans les phases caractérisées par le passage du contrôle de certaines tâches entre celui-ci et le système automatisé.

Il est utile de préciser qu'il ne s'agit pas de s'intéresser au régime de responsabilité applicable et sur les obligations et sanctions des conducteurs, mais d'adresser les usages et les mésusages de ces systèmes par des conducteurs la plupart du temps non formés, parfois même non informés. Il s'agit également de mesurer comment les conducteurs prennent les systèmes en main et ce qui est déterminant d'un point de vue de la conception des interfaces humain-machine.

Les interfaces humain-machine des systèmes de transport routier automatisés intégrés dans des services sont encore très peu adressées dans la littérature ; la revue bibliographique transcrit ce constat.

## Table des matières

a.	Les interfaces humain-machine du point de vue de la sécurité routière par Dekra.....	3
b.	La conception des interfaces humain-machine dans les véhicules équipés de systèmes d'aide à la conduite, sujet de thèse.....	11
c.	Is driving experience all that matters? Drivers' takeover performance in conditionally automated driving. Zhang et al. Elsevier. (2023).....	14
d.	User Acceptance of Autonomous Vehicles: Review and Perspectives on the Role of the Human-machine Interfaces. Yan et al. Computer-Aided Design and Applications. (20223) .....	16
e.	Do drivers' characteristics, system performance, perceived safety, and trust influence how drivers use partial automation? A structural equation modelling analysis. Norhoff et al. Frontiers in Psychology. (2023).....	17
f.	(Mis-)use of standard Autopilot and Full Self-Driving (FSD) Beta: Results from interviews with users of Tesla's FSD Beta. Nordhoff et al. Frontiers in Psychology. (2023).....	19
g.	Vigilance Decrement During On-Road Partially Automated Driving Across Four Systems. Biondi et al. Human Factors. (2023).....	21
h.	How to Make Reading in Fully Automated Vehicles a Better Experience? Effects of Active Seat Belt Retractions and a 2-Step Driving Profile on Subjective Motion Sickness, Ride Comfort and Acceptance. Tomzig et al. (2023) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## a. Les interfaces humain-machine du point de vue de la sécurité routière par DEKRA

En guise d'introduction, ce document prend appui sur le rapport sur la sécurité routière 2023 de DEKRA dédié à la technologie et à l'humain<sup>1</sup>.

### ***Perception des français et des allemands dans le cadre de sondages par DEKRA***

Le rapport présente en avant-propos les résultats d'un sondage réalisé par Opinionway pour le compte de DEKRA Automotive effectué les 7 et 8 septembre 2022 sur un échantillon de 1042 personnes, représentatif de la population française âgée de 18 ans et plus, constitué selon la méthode des quotas, au regard des critères de sexe, d'âge, de catégorie socioprofessionnelle, de catégorie d'agglomération et de région de résidence. Les résultats montrent que les systèmes innovants d'aide à la conduite sont favorablement perçus par les français. Parmi les systèmes existants, l'assistance au freinage d'urgence (59 %), les caméras de recul (55 %) et le régulateur de vitesse (50 %) sont jugés les plus utiles.

Par ailleurs, certains systèmes qui permettent une meilleure maîtrise du véhicule demeurent peu utilisés par les français, comme l'assistance au freinage automatique d'urgence (12 %), les détecteurs d'angles morts (12 %), de collision (11 %) et l'aide au maintien dans la voie (10 %).

Le rapport stipule qu'au vu de ces résultats, l'apprentissage de l'usage de ces dispositifs devrait faire partie de l'examen du permis de conduire.

Un sondage réalisé en Allemagne auprès de 1500 habitants germanophones âgés d'au moins 18 ans et sélectionnés selon un procédé systématique aléatoire en octobre 2022 révèle que 60 % des personnes interrogées ont déclaré qu'elles feraient preuve de plus de prudence face à un véhicule automatisé que face à un véhicule conduit par une personne ; 36 % déclarent qu'ils feraient preuve de la même prudence face à un véhicule automatisé que face à un véhicule conduit par un humain.

Parmi les répondants, 68 % déclarent avoir confiance en la plupart des systèmes d'aide à la conduite présents dans les véhicules tels que l'aide au freinage d'urgence, l'alerte au franchissement de ligne ou le régulateur de vitesse adaptatif, 25 % n'ont plutôt pas confiance et 5 % n'ont pas du tout confiance.

De plus, la moitié des interrogés ne disent pas faire de différence entre les constructeurs automobiles pour ce qui est de la confiance en termes de sécurité des fonctions d'automatisation. En revanche, 87 % de ceux qui font une distinction entre les constructeurs, la marque joue un très grand rôle. Pour 78 % d'entre eux, le pays de construction est également un aspect important et pour 55 % le prix est un facteur essentiel.

En lien avec la Vision Zéro défendue par la Commission européenne notamment, le rapport présente l'exigence du Conseil allemand pour la sécurité routière (DVR) qui stipule que tous les aspects de la psychologie de la circulation en lien avec les exigences relatives à la conduite de véhicules automatisés soient pris en compte. En particulier, le DVR inclut la configuration de l'interface humain-machine ainsi que les aspects de la qualification de l'utilisateur comme la formation de conduite, l'examen, la formation continue. En ce sens, le DVR s'engage en faveur de l'équipement obligatoire des véhicules d'auto-école avec certains systèmes d'aide à la conduite.

Dans cette optique et dans la mesure où les systèmes d'aide à la conduite ou d'automatisation sont particulièrement sensibles aux défaillances, la sensibilisation du conducteur au vu de la fiabilité des systèmes est jugée nécessaire.

A partir de l'exposition des chiffres liés à la sécurité routière et aux nombres d'accidents et en particulier des accidents recensés aux Etats-Unis par l'utilisation des systèmes d'automatisation des véhicules, le rapport fait le constat que l'automatisation ne pourra pas supprimer totalement les accidents et éliminer le facteur humain tant qu'il y aura des interfaces entre les véhicules hautement

---

<sup>1</sup> Rapport sur la sécurité routière 2023 : La technologie et l'humain. DEKRA.

automatisés et les formes de mobilité influencées par l'être humain sur la route. Ce constat est valable en partie pour les usagers vulnérables de la route comme les piétons et les cyclistes.

Par ailleurs, le rapport mentionne les cas de mésusages observés et dont les conséquences dramatiques d'un point de vue de la sécurité routière sont relatées dans les bilans de l'accidentalité. En particulier, les conducteurs qui possèdent des véhicules équipés d'aides à la conduite et pour lesquels le conducteur reste à tout instant responsable de la tâche de conduite, ont tendance à développer des comportements infractionnistes et dangereux (lâcher le volant et développer des systèmes ingénieux pour contrebalancer les sécurités d'attention des constructeurs, s'endormir au volant). La question de l'importance des interfaces entre l'homme et la machine, en particulier en ce qui concerne la compréhension du fonctionnement et des limites du système et la sensibilisation forte des conséquences de ces comportements est mise en exergue.

### ***Interface coopérative humain-machine***

Le rapport part du constat que si la technologie a la capacité de réaliser de manière tout à fait fiable et sans erreur des opérations définies sans compter, mesurer ou faire le lien entre un stimulus et une réaction, de manière durable et sans perte de qualité dans les limites du système, et malgré les forts potentiels de l'intuition et de l'adaptabilité de l'humain, celui-ci n'est pas vraiment multitâche. Concevoir des interfaces coopératives capables de s'adapter à la compétence de conduite avec ses limites neurobiologiques tout en compensant les restrictions de la perception et des capacités de performances humaines est alors un élément clef du dimensionnement des systèmes. L'interface joue alors un rôle central dans la conception des systèmes en vue de leur intégration dans le système de transport routier global.

En particulier, la conduite assistée doit être en mesure d'aider le conducteur à conduire à l'aide d'informations, d'avertissements ou d'une régulation mécanique mais ne doit pas le solliciter encore plus ou limiter ses responsabilités.

De plus, la connaissance du fonctionnement et des limites des systèmes d'aide à la conduite ainsi que de ses responsabilités vis-à-vis du niveau d'automatisation doit permettre au conducteur de faire bon usage de ces systèmes.

Les experts craignent que si dans un premier temps, ce seront des éléments de conduite simples qui seront transférés à la machine, il faille s'attendre à un recul des capacités et des aptitudes humaines pour la conduite.

Un autre effet secondaire provoqué par l'automatisation est le manque de stimulation du conducteur en raison de la diminution de l'activation de l'attention permanente du conducteur. Des chercheurs décrivent ce phénomène par le fait que si l'activation est trop faible, des signaux importants risquent de ne pas être remarqués. En particulier, des signaux trop faibles et monotones poussent le conducteur à les désactiver et à ne plus y faire attention, en se tournant en conséquence vers un environnement plus stimulant appelé distraction. Les actions les plus caractéristiques de cette distraction au volant sont l'utilisation de tablettes et smartphones.

En conséquence des systèmes fonctionnant de manière trop « parfaite » et sans dysfonctionnement apparaît la confiance exagérée du conducteur envers le système, ce qui entraîne une attention insuffisante ou négligée et une délégation complète de la responsabilité au système automatisé.

### ***Utilisation conforme des systèmes***

La confiance des utilisateurs est largement impactée par le fonctionnement du système lui-même et le fait que les alertes remontées soient pertinentes et ne conduisent pas à être interprétées par les conducteurs comme gênantes ou perturbantes. Les études sur l'acceptabilité des usagers ont mis en avant qu'en plus d'attitudes positives envers les systèmes, l'utilité et la facilité d'utilisation perçues sont des composantes essentielles de l'acceptation.

En ce sens, les consommateurs évaluent positivement les systèmes lorsqu'ils ne se sentent pas forcés de les utiliser. L'évolution des systèmes d'information du consommateur par les technologies d'information, de commande et de réglage offre des possibilités de configuration variées et des concepts de commande compréhensibles. De plus, la configuration du cockpit peut s'orienter sur différents groupes d'utilisateurs, leurs besoins et leurs intérêts.

La société allemande pour la psychologie de la circulation prend position en 2020 sur les questions de configuration ergonomique des véhicules : un transfert optimal des données pour soutenir le traitement des informations et l'orientation du conducteur devrait tenir compte des critères suivants :

- les informations doivent être fournies à temps et être pertinentes,
- spécifiques à la situation,
- adéquates, et,
- clairement compréhensibles.

Les informations doivent également être acceptées par le conducteur et l'inciter à adopter le comportement souhaité.

### ***Configuration des interfaces humain-machine***

Des exigences en matière de concepts de commande efficaces et transparents pour les systèmes d'aide à la conduite ont été développées. Le développement d'un système doit ainsi tenir compte de l'acceptation et de la facilité d'usage pour le consommateur, y compris de la possibilité de contrôle et la transparence. En ce sens, les systèmes d'aide à la conduite sont contrôlables et désactivables.

De plus, les systèmes intégrés dans les véhicules doivent garantir dans toutes les situations, que la délégation de conduite et la prise en main du contrôle du véhicule ont lieu sans erreurs, sans défaillances et suffisamment longtemps à l'avance.

La transparence des systèmes développés et déployés permet au conducteur de se faire une idée fiable de l'interaction humain-machine, de comprendre la logique du système. Plus un système est facile à prendre en main et plus il est facile d'apprendre à s'en servir, plus ce système aura une utilisation intuitive pour le conducteur. L'acceptabilité d'un tel système est alors favorisée. A l'inverse, les systèmes jugés complexes et dont la prise en main est compliquée ont une acceptabilité moindre et sont par conséquent peu utilisés voire mal utilisés.

Les interfaces humain-machine sont destinées à permettre une bonne prise en main des systèmes par les conducteurs et à favoriser leur utilisation, mais ne doivent pas alourdir la tâche de conduite. Aujourd'hui, la tâche d'interaction avec le système d'info-divertissement du véhicule est devenue la tâche la plus exigeante des conducteurs, d'après le rapport DEKRA. Des interfaces configurées de manière efficace permettent aux conducteurs de se servir du système avec un minimum de distraction pour ne pas les empêcher de conduire en toute sécurité. Ces interfaces sont plus communément configurées sous la forme d'écrans qui nécessitent d'effectuer des saisies par le biais de boutons.

En conséquence de la multiplication des systèmes d'aide à la conduite différents dans les véhicules, le nombre de fonctions commandées par les conducteurs augmente. La conception d'interfaces optimisées et requérant un niveau d'attention faible du conducteur est prépondérante en vue d'un usage optimal.

### ***Préférences utilisateurs***

Les préférences des utilisateurs divergent en ce qui concerne les interfaces. Une étude de différents designs de menus web a fait ressortir des préférences pour des menus déroulants, permettant de développer des éléments de commande, par rapport à des menus de sélection globaux et locaux. L'influence de ces deux typologies d'interfaces sur la recherche d'informations a été mesurée à l'aide de tâches de recherche et de navigation où l'utilisateur devait soit trouver le plus rapidement possible des informations concrètes, soit choisir un produit adapté parmi ceux proposés. Les résultats ont mis

en avant que pour une tâche de recherche, les menus déroulants étaient plus rapides que les menus de sélection globaux ou locaux.

Lors des développements des systèmes d'aide à la conduite, l'approche consiste le plus souvent à dimensionner l'interface de sorte que le système soit utilisable par un utilisateur lambda. Cependant, les études mettent en avant des divergences quant aux préférences des utilisateurs. En conséquence, des systèmes à la configuration flexible et personnalisables peuvent présenter des avantages. L'exemple le plus courant est la possibilité d'adapter la distance par rapport au véhicule prédécesseur du contrôle adaptatif de la vitesse. Le conducteur a la possibilité non seulement de régler le dispositif par rapport à sa conduite mais également selon la situation ou son confort instantané.

Le même constat est effectué pour les systèmes d'information et d'alerte.

### ***Aire des écrans tactiles combinés aux touches séparées***

Les cockpits se composent aujourd'hui de plus en plus d'écrans tactiles, donnant la capacité aux conducteurs d'avoir accès aux diverses commandes des véhicules incluant divers témoins d'alarmes et de contrôle, par le biais d'un concept de commande intégré interactif.

L'association d'écrans tactiles comme interfaces avec les technologies intelligentes embarquées à bord des véhicules n'est pas sans conséquence pour le conducteur et plus généralement l'humain. En effet, ces écrans tactiles permettant de pouvoir tout gérer depuis le tableau de bord induisent une complexification de l'utilisation qui se caractérise par une augmentation de la charge mentale pour le conducteur.

Les technologies innovantes incluent aujourd'hui de plus en plus de systèmes développés pour la saisie de la gestuelle, enregistrée par un ensemble de capteurs et de caméras et déclenchant certaines fonctions. En réduisant le nombre d'interactions directes avec le système de bord, la distraction du conducteur ainsi que le temps de saisie sont plus courts. Ces interfaces indirectes sont développées par le biais de gestes intuitifs et reconstituant les mouvements de communication utilisés entre les personnes.

L'aire des écrans tactiles implique que certains constructeurs ont intégré le fait d'actionner certaines commandes comme la climatisation ou les essuies glaces aux écrans tactiles. Les usagers évaluent positivement les écrans tactiles qui offrent un retour haptique sous forme de vibration dans le doigt. Par ailleurs, la plupart des commandes de conduite primaire comme les clignotants sont aujourd'hui toujours activées par le biais de leviers, des boutons ou des touches près du volant. Par ailleurs ces interfaces sont évaluées comme plus distrayantes dans certains cas quand les yeux des conducteurs sont orientés pendant des périodes continues sur les écrans.

Une étude menée par l'Automobile club général d'Allemagne (ADAC) s'est intéressée au concept de configuration des fonctions fréquemment utilisées et importantes pour la sécurité. Les meilleurs résultats obtenus dans l'étude le sont pour des modèles de véhicules dotés de systèmes de commande basés sur des contrôleurs commandés avec des boutons tournants. Lorsque des éléments de commande importants et jouant un rôle majeur pour la sécurité sont intégrés aux systèmes de menus numériques et de boutons électroniques, de mauvais résultats sont obtenus.

En conséquence de cette étude, l'ADAC recommande une combinaison de boutons ou touches séparées et d'écrans tactiles, notamment pour distinguer aisément les commandes importantes pour la sécurité.

Les écrans tactiles se montrent par ailleurs une très bonne alternative aux contrôleurs pour utiliser les systèmes d'info-divertissement avec notamment les fonctionnalités de navigation, la communication ou l'utilisation des médias. Lorsque les écrans tactiles sont suffisamment grands, avec une surface de contact importante et une performance de calcul puissante permettant une utilisation fluide, la saisie est rapide, la distraction est moindre et le retour des utilisateurs est positif. Lorsque la saisie est

réalisée depuis un contrôleur, le temps d'utilisation est plus long et la distraction plus longue pendant la conduite.

### ***Lien avec les tendances d'autopartage grandissantes***

Plusieurs études ont mis en avant que les nouvelles formes de mobilité liées à l'autopartage, caractérisées par un détachement des modèles de comportement symboliques et émotionnels au volant, étaient responsables d'une augmentation de l'implication des utilisateurs de l'autopartage dans les accidents. En particulier, les conducteurs utilisateurs d'autopartage sont selon les mêmes études plus souvent impliqués dans des accidents lorsqu'ils ne possèdent pas de voiture eux-mêmes, lorsqu'ils sont jeunes conducteurs ou qu'ils conduisent peu (moins de 1000 km par an).

Une enquête réalisée en Autriche sur 125 utilisateurs d'autopartage et 194 non-utilisateurs a été réalisée en ligne ainsi que des entretiens qualitatifs avec six utilisateurs et six non-utilisateurs. Les résultats montrent que 54 % des utilisateurs d'autopartage se familiarisent avec le véhicule et ses réglages avant de prendre le volant. Cependant, seulement 18 % d'entre eux s'intéressent aux systèmes d'aide à la conduite. Parmi ces utilisateurs toujours, plus de la moitié a déclaré ne prendre que deux minutes pour s'informer des conditions préalables à la mise en marche du véhicule. En outre, 37 % des personnes interrogées ont déclaré ne pas connaître les systèmes d'assistance dans le véhicule, tout en sachant que les systèmes peuvent être très différents d'un véhicule à un autre. Enfin, une personne sur quatre a reconnu avoir été confrontée à une situation dangereuse à bord d'un véhicule d'autopartage et 7 % a déclaré avoir déjà eu un accident à bord d'un véhicule d'autopartage.

Globalement, les utilisateurs et les non-utilisateurs ont considéré que l'initiation à l'utilisation du véhicule était particulièrement importante pour améliorer la sécurité routière. Trente-trois pourcents des utilisateurs ont même indiqué qu'il pourrait être bénéfique de modifier le mode de facturation, aujourd'hui uniquement basé sur la durée d'utilisation du service, incitant parfois à ne pas respecter les limitations de vitesse ou en adoptant des comportements dangereux pour réduire la durée d'utilisation. De même, la tarification incluant la durée à partir du moment de déverrouillage du véhicule, le temps consacré à la prise en charge du véhicule et à la familiarisation est restreint volontairement par les utilisateurs. Les utilisateurs admettent également que des informations délivrées sur la plateforme sur le véhicule pourraient être données.

### ***Effets négatifs des systèmes d'aide à la conduite***

Dans le rapport DEKRA, un système d'aide à la conduite est défini comme tout équipement supplémentaire électronique qui doit soutenir le conducteur dans certaines situations de conduite. En ce sens, de nombreuses solutions sont englobées dans cette définition, en partie avec une prise d'influence sur le guidage longitudinal ou transversal ou bien avec la navigation.

Ces aides sont destinées à réduire le risque d'accident et à augmenter le confort de la conduite. Néanmoins, ces systèmes sont souvent montrés du doigt pour leurs effets négatifs sur la sécurité routière, notamment pour la raison qu'ils exacerbent le sentiment de sécurité du conducteur et amènent à sous-estimer les conséquences de la distraction au volant

Ces effets négatifs sont aujourd'hui documentés par la littérature scientifique par le biais d'études, qui mettent en avant d'une part que le conducteur s'habitue à l'utilisation des dispositifs. Dans les expérimentations réalisées sur le système de maintien de trajectoires, le conducteur n'a pas détecté les désactivations du système et des distances significativement supérieures ont été enregistrées (respectées) par rapport aux limites de la chaussée/des voies par rapport aux trajets où le système était inactif.

Une étude italienne menée en 2015 a examiné les conséquences sur le comportement et l'acceptation d'un système qui évalue la circulation environnante avec des capteurs à bord et envoie une alerte au conducteur lorsqu'il détecte un danger, mais n'intervient pas activement. Le système d'aide à la conduite assiste le conducteur via différents canaux de l'interface humain-machine, parmi lesquels des signaux visuels et des signaux d'alerte acoustiques sont émis. La ceinture de sécurité a également été

utilisée comme canal par le biais d'une tension variable exercée sur le conducteur et croissante avec le niveau de risque mesuré.

Les essais ont été menés sur 24 participants le long d'un tronçon d'essais de 53 kilomètres sur autoroute et sur route. Des effets positifs de ces systèmes ont été remarqués sur le choix de la voie, le changement de voie et la vitesse par exemple, accompagnés d'effets négatifs comme des comportements non adaptés à la situation (virage trop anticipés au niveau d'intersections) ou distances latérales insuffisantes.

Une autre étude a été réalisée en Chine en 2021 afin d'étudier l'efficacité des systèmes d'aide à la conduite type (ADAS) à l'aide des marges de sécurité comme indicateur. Une marge de sécurité se définit comme la limite de sécurité ressentie par le conducteur : en deçà de cette marge le conducteur se sent en sécurité tandis que lorsqu'elle est franchie, le conducteur ressent un danger. Des situations d'évitement d'accidents ont été étudiées afin de déterminer l'amélioration de la perception du risque par le conducteur.

Les niveaux de risque des conducteurs pendant activation de ces systèmes ont été comparés lorsque ceux-ci étaient désactivés. Le système comprenait un avertisseur de franchissement de ligne, un avertisseur de collision frontale ainsi qu'un système de surveillance et d'alerte des distances de sécurité. Deux catégories de conducteurs ont été définies suivant l'expérience des conducteurs au vu des kilomètres parcourus depuis l'obtention du permis de conduire.

Les accidents évités de justesse ont été extraits et répartis en trois groupes : risque faible, risque moyen et risque élevé. Près de la moitié des incidents ont été classés en risque moyen tandis que près de 10 % ont été inclus dans la catégorie des risques élevés.

Les analyses ont montré qu'à un degré de risque croissant, les systèmes d'aide à la conduite n'avaient un effet significatif que sur les conducteurs inexpérimentés. Le gain de sécurité chez les conducteurs inexpérimentés augmentait donc avec le niveau de risque tandis qu'il diminuait légèrement chez les conducteurs expérimentés. De fait, le système d'aide à la conduite a été évalué comme altérant la performance des conducteurs expérimentés dans les scénarios à haut risque.

Ces résultats mettent en avant le phénomène de sur-confiance qui se développe envers le système, qui entraîne une négligence ou une absence du principe de prudence du conducteur.

Le cas de la distraction est désormais un fléau en termes de sécurité routière, d'autant plus coriace que les systèmes d'aide à la conduite sont répandus. Aux Etats-Unis, une analyse d'accidentalité a montré que 59 % des accidents observés sont imputables à la distraction en raison de l'attention du conducteur portée sur une activité annexe, incluant l'interaction avec les passagers (12 %) et l'utilisation d'éléments du cockpit (11 %).

De plus, les résultats de l'étude menée par le centre technique d'Allianz et publiée en 2023 montrent que les distractions liées à la technologie augmentent pratiquement de moitié le risque d'accident : augmentation de 54 % avec l'utilisation de dispositifs fixés ou montés dans le véhicule, de 46 % lors de l'usage de la navigation et de 56 % lors de la réalisation d'autres tâches que la conduite lorsque le système est activé.

Une analyse systématique de la littérature effectuée en 2021 et se référant à 29 travaux a d'ailleurs souligné l'importance de la distraction liée aux systèmes d'aide à la conduite, dans la mesure où le rôle passif du conducteur est croissant avec le niveau d'automatisation. Le rôle passif favorise ainsi la monotonie et l'ennui pendant la conduite lors de l'activation de ces systèmes ; l'ennui étant lui-même compensé par la multiplication des activités autres que la conduite du conducteur.

L'augmentation des tâches autres que la conduite pendant l'activation des systèmes est imputée au ressenti du conducteur comme étant de faible intensité en ce qui concerne sa stimulation et sa sollicitation. Les conséquences sur le fait que les conducteurs aient le regard moins intensément porté



sur l'environnement du véhicule limite leur conscience des situations de conduite auxquelles sont soumis les systèmes actifs.

En outre, des chercheurs italiens ont montré que les systèmes d'aide à la conduite peuvent devenir une source de distraction pour le conducteur de par les effets des signaux acoustiques sur le conducteur, en particulier les signaux d'alerte au conducteur sans conséquence active (vitesse du véhicule). Les études ont ainsi mis en avant que ces signaux peuvent gêner voire effrayer le conducteur alors qu'il est concentré sur sa conduite.

### ***Question de la reprise en main***

La reprise en main est un sujet sensible de l'automatisation partielle (correspondant à un niveau SAE 3 dans la terminologie américaine, dite conditionnelle) des véhicules dans la mesure où le régime de responsabilité est partagé entre le système, dont les capacités sont accrues par rapport à une simple assistance du conducteur, et le conducteur. La tâche de conduite étant partagée sur des périodes temporelles plus longues, dans des environnements plus larges bien que restreints rend complexes ces interactions.

La notion de désengagement est particulièrement étudiée outre Atlantique, en Californie, en particulier pour distinguer les désengagements causés par le système et ceux causés par le conducteur. L'obligation de remonter des rapports annuels par les constructeurs est succédée par l'analyse systématique des résultats par le Département des véhicules à moteur (DMV) de Californie.

Les résultats mettent en avant que le nombre de désengagements initiés par le système diminue au cours du temps. L'explication donnée est soit la diminution de la confiance dans la technologie, soit imputée au niveau de connaissance croissant des conducteurs à l'usage, se caractérisant par une meilleure compréhension des limites de fonctionnement des systèmes.

Les résultats californiens montrent d'ailleurs une augmentation de la cause des désengagements pour raisons de conditions météorologiques défavorables (de 12 % à 30 % en 2019). Alors qu'en 2019 les désengagements dus à des divergences de matériel et de logiciel et de perception tendent à diminuer, les cas de mauvaise utilisation (conditions non favorables) par rapport au domaine d'emploi défini par le constructeur est en nette hausse.

L'étude du rapport du nombre de désengagements aux accidents fait ressortir que généralement les désengagements ne provoquent pas d'accidents.

Le rapport introduit aussi la notion de reprise de contrôle, qui se distingue de la reprise en main pure dans la mesure où elle est initiée sans alerte par le système et donc sans demande explicite du système au conducteur. Les analyses de la reprise de contrôle sont très difficiles à mener en raison de l'absence d'enregistrement du système d'une demande explicite, et constituent selon le rapport la majorité des situations de reprise en main.

### ***Le cas des activités autres que la conduite***

Une étude réalisée par DEKRA en collaboration avec l'université technique de Dresde a cherché à qualifier et quantifier les impacts de la réalisation d'une activité (lecture sur tablette pour le groupe expérimental) pendant la délégation de conduite. L'étude a été réalisée au regard de la pertinence des alertes adressées par le système, soit par la remontée d'une alerte erronée soit par un défaut de remontée (alerte silencieuse). En particulier, les résultats sur le temps de reprise en main en cas de demande erronée par le système montrent que les conducteurs ont mis en moyenne de 2.44 s pour le groupe de contrôle et 2.24 s pour le groupe expérimental (temps de réaction moyen évalué à 0.83 s en situation de conduite conventionnelle). Les conducteurs ont généralement pris du temps à analyser la situation, ne comprenant pas l'objet de la demande de reprise en main.

De plus, dans le cas du groupe expérimental (lecture de la tablette), les situations d'échec de la reprise en main ont été deux fois plus fréquentes que pour le groupe de contrôle (situation de conduite passive).

La reprise du contrôle dans les situations d'alarmes silencieuses (le système n'a pas détecté ses limites de fonctionnement), les conducteurs ont eu généralement du mal à identifier la situation de reprise en main nécessaire. Par ailleurs, le groupe de contrôle a obtenu de meilleurs résultats avec un taux d'échec compris entre 24 et 61 % en fonction du scénario proposé contre 58 à 59 % d'échec pour le groupe expérimental.

L'étude met ainsi en avant les risques pour la sécurité de la réalisation d'une tâche annexe pendant la délégation de conduite, dans la mesure où celle-ci sollicite les capacités visuelles et cognitives du conducteur. Si la technologie accroît le confort lors de la conduite, le conducteur doit rester attentif pendant les périodes d'activation du système afin de satisfaire les demandes de reprise en main transmises par le système.

### ***La question des données***

Le sujet de la protection des données est abordé par rapport aux mises à jour logicielles qu'impliquent ces systèmes et au sujet de la cybersécurité.

### ***Conclusion et recommandations de DEKRA***

DEKRA propose une liste de recommandations regroupées en trois catégories : le facteur humain, la technologie et l'infrastructure et la réglementation. Sur le sujet des interfaces humain-machine et de l'usage des systèmes par le conducteur, les recommandations sont les suivantes :

- l'utilité des systèmes d'aide à la conduite repose sur la bonne information des utilisateurs (domaine d'application, limites de fonctionnement) et cette information devrait concerner aussi bien la vente de véhicules neufs que la vente de véhicules d'occasions ;
- l'approche collaborative du système d'aide à la conduite, complémentaire aux capacités humaines, devrait être privilégiée sur l'approche purement technologique ou l'humain ne résout que les problèmes rencontrés par le système ;
- la question de la responsabilité imputée au conducteur dans le cas des systèmes d'aide à la conduite doit être comprise, y compris au regard de publicités mensongères de certains constructeurs ;
- l'interface humain-machine est d'autant plus efficace que les informations partagées sont précises, arrivent au bon moment et sont en nombre limité ;
- les modèles basés sur des véhicules entièrement automatisés et intégrant des situations de reprise en main à distance nécessitent de définir le modèle de qualification et de formation adéquat pour les opérateurs distants ;
- la question des interactions entre les systèmes hautement automatisés et les autres usagers de la route doit être adressée ;
- les transitions de contrôle du véhicule dans les cas des véhicules partiellement automatisés doivent être clairement identifiables par les conducteurs ;
- la standardisation de l'agencement, de la manipulation et du lieu de montage dans le poste de conduite des fonctions de commandes importantes pour la sécurité est requise ;
- les interfaces humain-machine dans les véhicules devraient faire une distinction claire entre les dispositifs d'assistance et les dispositifs d'automatisation ;
- l'utilisation des données d'accidents pour établir des statistiques de sécurité routière est insuffisante, la confrontation de plusieurs bases de données serait souhaitable comme les données issues des sociétés d'assurances et des caisses d'assurance maladie.

## b. La conception des interfaces humain-machine dans les véhicules équipés de systèmes d'aide à la conduite, sujet de thèse

Cette partie synthétise la thèse réalisée par Noé Monsaingeon réalisée à l'université de Toulouse et soutenue en 2023. Ce travail s'intéresse à la conception et à l'évaluation des interfaces dites multimodales guidant les ressources de l'attention du conducteur vers le statut des systèmes d'aide à la conduite.

### **Définition**

Une interface multimodale est définie comme une interface humain-machine transmettant une information au conducteur faisant appels à une variété de signaux sensoriels (visuels, sonores, haptiques).

Les interfaces mises en avant dans les expérimentations sont caractérisées comme suit :

- les interfaces multimodales sont centrées sur le conducteur et sur les besoins que celui-ci identifie,
- les interfaces visuelles classiques sont centrées sur le véhicule et son état au cours du temps.

### **Méthodologie des expérimentations**

Différentes situations d'expérimentation ont été menées afin de concevoir et évaluer un indicateur permettant de mesurer les limites des systèmes d'aide à la conduite.

D'autres études ont été réalisées pour qualifier et quantifier les performances des interfaces sonores et haptiques intégrées au volant dans l'optique d'être perçues et comprises par les conducteurs.

Les interfaces proposées ont été préalablement testées dans un simulateur pour évaluer leurs effets conjugués.

Les évaluations reposent ensuite sur des tests réalisés sur des participants soumis à des situations de reprise en main correspondant à des désengagements du système lors d'une sortie des conditions d'utilisation prévues par le constructeur. Quatre situations ont été testées : virages trop serrés, bouchons, brouillard, marquages routiers effacés.

Lors de ces situations, les véhicules étaient soit équipés d'interfaces standards (visuelles) soit équipés d'interfaces multimodales afin de comparer les résultats obtenus.

Ont été observés et évalués l'état de conscience de l'état des systèmes automatisés, la distribution de l'attention, et la confiance dans ces systèmes.

### **Résultats**

Les résultats mettent en avant les points suivants, répertoriés selon les objectifs de recherche et expérimentations réalisées.

- **Impact de la conception de l'interface sur le comportement du conducteur dans les véhicules équipés de systèmes d'aide à la conduite**

Cette première partie s'est intéressée à l'effet d'une interface multimodale sur la compréhension des fonctionnalités des véhicules, destinées à aider et assister le conducteur dans la tâche de conduite.

Des confusions de mode ont été relevées dans le véhicule équipé d'une interface visuelle centrée sur le véhicule ainsi que dans le véhicule équipé d'une interface multimodale centrée sur le conducteur.

Une interface multimodale centrée sur les besoins de conducteur permet de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes d'aide à la conduite mais est visuellement plus distrayante.

Les signaux auditifs de l'interface multimodale centrée sur les besoins du conducteur sont liés aux confusions de mode.

L'indication d'informations sur la fiabilité pourrait être un moyen d'améliorer la conscience des modes (système actif ou non).

- **Conformité du comportement du conducteur avec la fiabilité des informations au regard des circonstances liées aux aléas de l'environnement de conduite**

Le but de cette étude a été d'évaluer l'utilité de la fiabilité des informations transmises par l'interface lors de conditions environnementales variant favorablement ou non favorablement pour le système de conduite automatisé.

Les conducteurs se conforment aux indications de proximité des limites de fonctionnement des systèmes en vue de la prise de décision de désactivation.

Les circonstances des aléas dus à l'environnement sont prises en compte pour décider de la désactivation des systèmes.

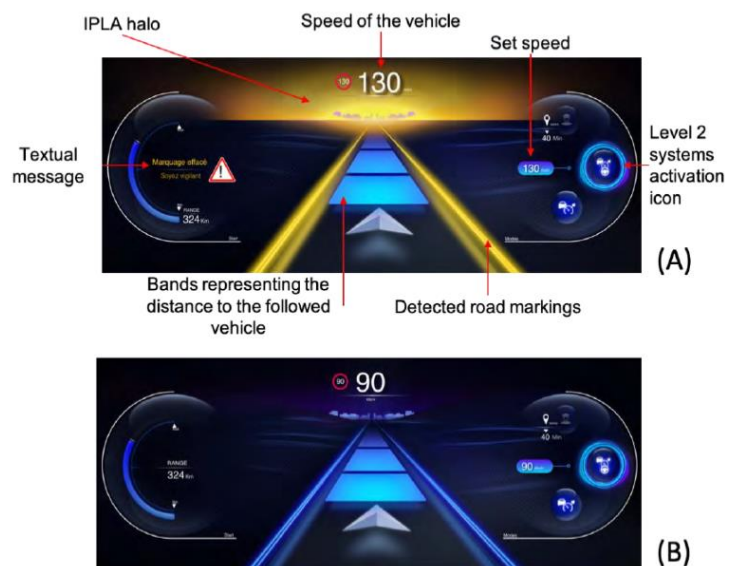
Trois profils de conducteurs peuvent être dérivés des décisions de désactivation du système : les sceptiques, les conformes à l'indication du système et les enthousiastes.

La confiance et l'expérience des conducteurs des systèmes d'aide à la conduite et de l'automatisation en général influencent les comportements.

- **Indications des limites des systèmes d'aide à la conduite par vision périphérique de l'environnement sur l'interface**

Les travaux sur la mise en avant des limites du système posent la question de la manière de concevoir une interface permettant de proposer les limites du système pendant son activation.

Figure 1 : Présentation d'une interface faisant apparaître les limites des modes via une vision périphérique de l'environnement



L'indicateur de proximité des limites de l'automatisation augmente le nombre de décisions de désactivation des systèmes automatisés avant leur suspension.

Le choix de l'action n'est pas toujours adapté à la situation lorsque l'indicateur de proximité des limites de l'automatisation est affiché, une tendance de hausse des situations de désengagement a été observée.

La durée présentation des informations de l'indicateur ne doit pas être prolongée et les éléments d'information centralisés pour le conducteur.

- **Signaux sonores pour réduire la confusion des modes**

Cette partie a eu pour objectif d'évaluer les capacités spécifiques de certains signaux sonores et leur influence sur la conscience des modes pendant les périodes de transition.

Certains signaux sonores (nommés *earcons*) dits abstraits ont une signification unique qui doit être connue. L'étude a consisté à construire une méthode d'évaluation des *earcons* pour améliorer la conscience des modes.

Il ressort que les *earcons* représentant une hiérarchie des modes par leur hauteur, le timbre et le nombre de notes s'avèrent stimuler efficacement la conscience des modes.

- **Influence des retours haptiques de l'attention des modes**

L'analyse de cette partie a eu pour objectif d'évaluer l'effet des interfaces haptiques sur la conscience des modes, notamment par le volant, qui a la capacité de contrôler les mouvements du véhicule.

Le volant peut fournir deux types de signaux haptiques : tactiles (perception de la peau) et kinesthésiques (effort musculaire).

Différentes intensités de signaux kinesthésiques dans le volant peuvent être perçues et différenciées.

La présence de signaux tactiles induit une discrimination efficace des désengagements des systèmes automatisés, les désengagements sont évalués comme plus fiables.

Les retours tactiles et kinesthésiques interagissent avec le temps de réaction sur la détection d'un désengagement des systèmes automatisés.

- **Interface multimodale et fiabilité des limites du domaine de fonctionnement du système**

Figure 2 : Présentation de l'interface multimodale pour le système de contrôle de la vitesse adaptatif selon la proximité des limites de fonctionnement

Limits at moderate proximity

Limits at close proximity



Le but de cette étude était de pouvoir évaluer la capacité de l'interface multimodale à stimuler un niveau d'attention approprié, un niveau de conscience des modes approprié, et un niveau de confiance approprié.

Une interface multimodale indiquant les limites de l'automatisation a un impact positif sur les modèles mentaux des conducteurs.

Une interface multimodale indiquant les limites de l'automatisation attire l'attention des conducteurs sur le tableau de bord avant le désengagement du système, ce qui permet de mieux répartir l'attention qu'une interface visuelle classique.

Les performances de conduite après le désengagement de l'automatisation dans les situations de visibilité limitée sont améliorées par l'interface multimodale indiquant les limites de l'automatisation.

La confiance dans l'automatisation augmente avec le temps de manière plus importante grâce à l'interface multimodale indiquant les limites de l'automatisation par rapport à l'interface visuelle classique.

c. Is driving experience all that matters? Drivers' takeover performance in conditionally automated driving. Zhang et al. Elsevier. (2023)

Cette étude s'intéresse à l'influence de l'expérience de conduite sur les performances de la reprise en main dans le cas de la conduite conditionnellement automatisée (équivalent niveau SAE 3 et dite partiellement automatisée en France).

**Méthode**

Dix-neuf étudiants volontaires ont participé à l'expérience (17 hommes et 2 femmes). L'expérience de conduite des participants était variable et la période de détention du permis de conduire variait entre trois et sept ans.

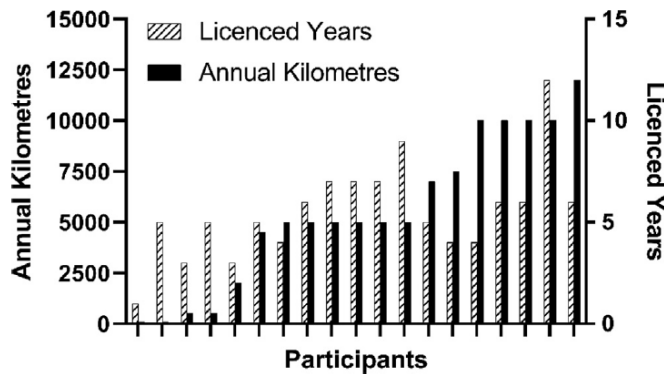


Figure 3 : Caractéristiques des participants concernant l'obtention du permis de conduire et les distances parcourus annuelles

L'étude a été réalisée en simulateur, validé dans le cadre de précédentes recherche et permettant de simuler des situations de conduite automatisée ainsi que des scénarios de reprise en main. La conduite conditionnellement automatisée simulée est la conduite sur autoroute à 110 km/h où la demande de reprise en main est requise au droit d'un véhicule immobile dans la voie (évitemment du véhicule). Le temps de collision avec le véhicule est simulé pour être de quatre secondes, utilisé comme étant la limite caractéristique d'une réduction drastique des performances des conducteurs. Le message d'alerte indique au conducteur de « retourner dans la voie adjacente ». La situation de reprise en main nécessite de la part du conducteur d'adapter la vitesse du véhicule et d'effectuer une manœuvre d'évitement (par un changement de voie).

En amont de la demande de reprise en main et pendant l'activation du système, le conducteur a été soumis à une activité autre que la conduite passive du véhicule pendant cinq ou trente minutes, permettant de caractériser trois niveaux de charge mentale : se reposer, se divertir et travailler. Les impacts de la réalisation d'une activité autre que la conduite cherchent à être caractérisés au regard de la charge mentale de la tâche réalisée et de sa durée.

La figure ci-dessous présente le déroulé de l'expérience.

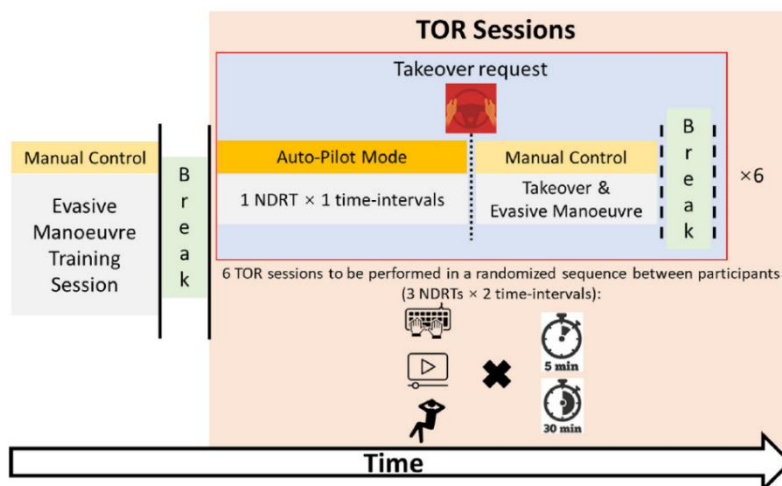


Figure 4 : Déroulé de l'expérience à partir des trois situations d'activités autre que la conduite et des deux périodes de réalisation de cette activité au regard de la situation de demande de reprise en main

## Résultats

Les résultats indiquent que la charge mentale a été supérieure pour la situation de travail. De plus, les résultats mettent en avant que plus la tâche autre que la conduite requiert une forte attention du conducteur, par les capacités visuelles et cognitives qu'elle requiert, plus le temps de reprise en main est important, indépendamment de la durée de réalisation de la tâche.

En revanche, pour ce qui est de la durée de l'activité autre que la conduite, les résultats sont significatifs uniquement pour le cas de l'activité de détente : lorsque le conducteur n'est plus attentif et se détend dans le véhicule pendant une durée prolongée, la charge mentale évaluée par les participants est significativement supérieure. Ce constat n'est pas observé pour les deux autres tâches : le divertissement et le travail.

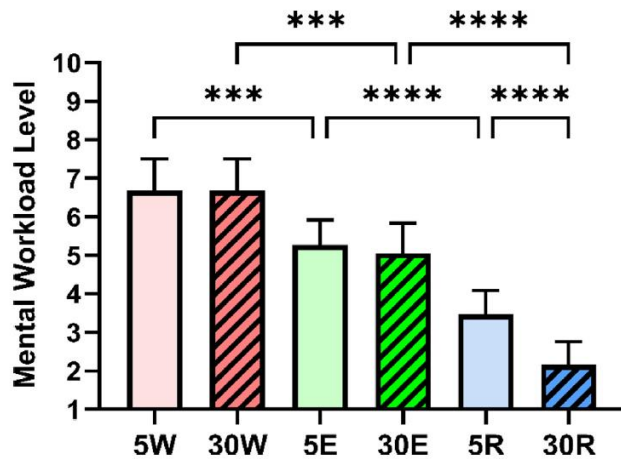


Figure 5 : Charge mentale évaluée en fonction de la tâche réalisée et de la durée de la tâche (les durées sont de 5 ou 30 minutes ; W pour la tâche de travail, E pour le divertissement et R pour le repos)

De ces expériences ont été analysés huit indicateurs de performance de la reprise en main :

- l'angle moyen de l'action sur le volant et la variance de l'angle ainsi que sa valeur absolue ;
- la variance de la position du véhicule dans sa voie ;
- la durée totale passée en dehors de sa voie ;
- le temps de réaction ;
- la durée de changement de voie ;
- la durée totale du changement de voie, temps de réaction inclus.

De manière générale, la réalisation d'une tâche autre que la conduite pendant la délégation de conduite influence les performances de reprise en main à la suite d'une demande envoyée par le système.

En particulier dans le cas des indicateurs liés au positionnement et à l'angle du volant, l'activité prolongée a des conséquences significativement négatives sur les performances du conducteur pour les situations de repos et de travail.

En ce qui concerne le positionnement du véhicule dans sa voie, les résultats mettent en évidence que le positionnement pendant la reprise en main est corrélé au positionnement en situation conventionnelle (relative à la conduite du conducteur).

Le constat est le même pour l'indicateur lié à la durée pendant laquelle le véhicule se trouve en dehors de sa voie.

En ce qui concerne la corrélation entre les performances et les caractéristiques du conducteur en termes de distance parcourues et d'obtention du permis de conduire, les résultats montrent une corrélation forte. Les participants qui conduisent beaucoup, indicateur exprimé en nombre de kilomètres parcourus, obtiennent de meilleurs résultats selon les huit indicateurs de performances. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été obtenue en ce qui concerne l'année de détention du permis de conduire.

#### d. User Acceptance of Autonomous Vehicles: Review and Perspectives on the Role of the Human-machine Interfaces. Yan et al. Computer-Aided Design and Applications. (2023)

Cet article propose une revue de littérature des travaux réalisés sur les interfaces humain-machine avec l'objectif d'évaluer l'acceptabilité des véhicules automatisés dans la perspective de la conception de ces interfaces.

La revue de littérature réalisée montre que sur les dix dernières années, les travaux se sont intéressés aux interfaces homme-machine des véhicules automatisés en se focalisant sur les aspects suivants :

- transfert de la responsabilité dans les situations de demande de reprise en main ;
- construction collaborative de l'environnement humain-machine dans le véhicule ;
- échange d'informations et communication entre le véhicule, les personnes à l'extérieur du véhicule et l'environnement dans les scénarios de véhicules totalement automatisés.

Peu d'études se focalise encore sur les modèles d'acceptabilité des usagers pour concevoir les interfaces des véhicules automatisés.

#### **Méthodologie**

En partant du constat que l'acceptabilité des interfaces joue un rôle essentiel dans l'acceptabilité du public en tant que matrice de passage entre la machine et l'humain, les auteurs se sont intéressés à l'analyse des interactions entre l'humain et la machine à partir d'une large revue de littérature.

La revue a été constituée autour des mots-clés relatifs à l'automatisation, à l'acceptabilité (confiance, propension, attentes, intention par exemple) et aux IHM. La recherche a concerné la décennie 2011-2021 et a permis de retenir un total de 4930 articles.

Des critères d'exclusion ont été utilisés afin de ne conserver que les publications scientifiques en anglais analysant l'acceptabilité de l'automatisation et les impacts des interfaces humain-machine sur l'utilisateur. Une analyse des références des publications a aussi été réalisée pour accroître la littérature pertinente.

La méthode de sélection, accompagnée de ses critères d'exclusion et d'inclusion a permis de considérer 206 publications dans l'analyse.

#### **Résultats**

La notion d'interface humain-machine se réfère dans la littérature à la transmission d'informations entre l'agent humain et l'intelligence artificielle par le biais d'une interface (tableau) permettant de réaliser cette collaboration (explicitement compréhensible par les deux acteurs). Les travaux sur les interfaces ont pour but d'améliorer la transmission d'informations, en particulier de la rendre plus flexible.

Les publications de la revue de littérature ont mis en évidence deux typologies d'interfaces : les interfaces dites entrantes et celles dites sortantes. Les interfaces entrantes intègrent les canaux de réception du véhicule permettant de recevoir l'information provenant de l'humain comme des boutons, le volant, les pédales ou les écrans tactiles. Les interfaces sortantes intègrent les canaux de communication du véhicule à destination de l'utilisateur humain (qu'il soit passager ou autre usager de la route) notamment par les signaux transmis, les stimuli visuels et sonores.

De plus, de par la qualité des attributs de communication des interfaces humain-machine, deux types de messages sont considérés : les communications explicites et implicites. Les communications explicites font référence aux échanges d'information entre le véhicule et l'utilisateur par des informations externes, acquises par un ensemble de stimuli tandis que les communications implicites sont moins aisément perceptibles et nécessitent un intérêt particulier par l'utilisateur (trajectoires par exemple).



La littérature réalisée permet de catégoriser les typologies d'interfaces en cinq catégories : les interfaces dynamiques, les automatiques, les interfaces de véhicule, les interfaces de divertissement et les interfaces externes. Ces typologies d'interfaces sont également corrélées au niveau d'automatisation.

Pour les niveaux d'automatisation correspondant aux niveaux SAE 1 à 3, communément appelés systèmes d'aide à la conduite, l'interface doit permettre de réduire le délai cognitif du transfert de « contrôle » entre le système et le conducteur (indépendamment des questions relatives au régime de responsabilité pénale) aux fins d'améliorer la sécurité.

Globalement, les objectifs afférents aux processus de conception sont destinés à intégrer les préférences et les craintes des usagers pour renforcer la sécurité et le bon usage. En ce qui concerne précisément les usagers extérieurs, le défi est de ne pas donner suffisamment d'information ou des informations qui soient mal interprétées.

Les analyses mettent en avant les constats suivants :

- les usagers sont plus à l'aise avec les signaux qui se rapprochent de ce que ferait l'humain ;
- ils préfèrent les signaux stables ou clignotants plutôt que les balayages ;
- les piétons préfèrent les flèches que les bonhommes ;
- une information n'est pas forcément liée à un message mais peut être interprétable selon la situation.

Par ailleurs, les informations trop explicites peuvent créer une sur-confiance auprès des usagers.

e. **Do drivers' characteristics, system performance, perceived safety, and trust influence how drivers use partial automation? A structural equation modelling analysis.** Norhoff et al. *Frontiers in Psychology*. (2023)

L'étude s'intéresse aux conducteurs et utilisateurs de deux systèmes d'aide à la conduite afin de mesurer comment les caractéristiques individuelles, les performances du système, la sécurité perçue et la confiance influencent l'usage de ces systèmes.

En particulier, l'article s'intéresse aux trois questions de recherche suivantes :

- Dans quelle mesure la sécurité perçue et la confiance, les bénéfices perçus et la tâche autre que la conduite réalisée influencent l'usage des systèmes d'automatisation partielle ?
- Dans quelle mesure la sécurité perçue et la confiance influencent les bénéfices perçus de l'automatisation partielle et le niveau d'engagement dans une tâche annexe ?
- Dans quelle mesure les caractéristiques des conducteurs et les performances du système influencent la sécurité perçue et la confiance de l'automatisation partielle ?

### ***Methodologie***

L'enquête a été ciblée sur les usagers des systèmes Tesla notamment par une distribution de l'enquête au niveau des bornes de recharge Tesla aux Pays-Bas, ainsi que sur les réseaux sociaux, y compris professionnels. L'enquête a également été diffusée aux employés de Toyota Europe.

Le questionnaire utilisé a été réalisé par l'outil Qualtrics. Celui-ci a été précédé d'une description sur les systèmes d'aide à la conduite afin de s'assurer que les répondants aient une bonne compréhension des fonctionnalités et du champ de l'étude.

Une partie des questions a permis de collecter des informations personnelles sur les répondants et l'usage des dispositifs d'automatisation. A l'issue de ces premières questions, les répondants ont été filtrés selon qu'ils utilisent les systèmes suivants : assistance au maintien dans la voie, contrôle adaptatif de la vitesse et alerte au franchissement de voie.

L'expérience de conduite des participants a été évaluée, notamment vis-à-vis des comportements à risques, des infractions et situations d'accidents rencontrées.

Les performances des systèmes objets de l'enquête ont été évaluées sur une échelle de Likert en cinq points, notamment au regard de la souplesse de conduite, de la détection et de la prise de décision.

Puis, l'ensemble des indicateurs liés à la confiance, aux bénéfices perçus, à la sécurité perçue ont été évalués. Les désengagements initiés par le conducteur ont été quantifiés et qualifiés.

Les données ont été récoltées entre novembre 2020 et janvier 2021. Un total de plus de 600 questionnaires a été complété et retenu pour l'étude.

### **Résultats**

Les participants ont déclaré en majorité (+ 90 %) ne jamais avoir été blessé dans un accident (36 % ont déclaré avoir déjà eu un accident matériel). Quatre-vingt-un pourcents des répondants ont reporté utiliser leur système de contrôle de vitesse adaptatif (ACC) et de maintien dans la voie (LKA) au moins une à deux fois par semaine ; 84 et 92 % ont déclaré utiliser respectivement le LKA et l'ACC occasionnellement.

Les résultats mettent en avant une meilleure évaluation de l'ACC par rapport au LKA et de la détection des véhicules prédécesseurs et des marquages latéraux par rapport à la souplesse de la conduite (+ 90 %). Ces résultats traduisent que globalement les performances des systèmes sont évaluées positivement : ils répondent aux attentes techniques pour assurer la sécurité. Par ailleurs, ils n'ont pas toujours la souplesse attendue par les usagers, se comportant différemment des attentes des usagers, en comparaison à des situations de conduite humaines.

Les désengagements remontés par les répondants ont été en majorité dus à un manque de confiance (75 %) et lorsque la conduite est agréable au conducteur (68 %). Seulement 22 % des répondants ont déclaré désengager le système lorsqu'ils ressentent de la fatigue et 26 % lorsqu'ils s'ennuient.

L'analyse des caractéristiques individuelles sur les perceptions a uniquement mis en avant la nervosité et l'extraversion comme influençant l'usage. De plus, le modèle a permis d'exclure la corrélation entre les désengagements et les caractéristiques individuelles.

En ce qui concerne les activités autres que la conduite, il a été trouvé que la confiance a un effet positif sur l'intention de réaliser une autre activité pendant l'activation des systèmes. La sécurité perçue en revanche n'a pas été significativement liée à la réalisation d'activités autres pendant la conduite.

En outre, les traits de caractères de nervosité et d'extraversion ont été respectivement négativement et positivement liés aux niveaux de confiance et de sécurité perçue déclarés.

Par ailleurs, le niveau de confiance est également corrélé à un désengagement lorsque le système n'est pas nécessaire, distrayant ou apportant de la confusion.

f. (Mis-)use of standard Autopilot and Full Self-Driving (FSD) Beta: Results from interviews with users of Tesla's FSD Beta. Nordhoff et al. *Frontiers in Psychology*. (2023)

Le système proposé par Tesla sous le nom de *Full Self-Driving Beta* introduit une extension du domaine de conception fonctionnelle du système standard *Autopilot* aux routes urbaines (initialement uniquement disponible sur autoroutes).

Les questions de recherche sont les suivantes :

- Quelles sont les adaptations comportementales à court-terme de l'utilisation des systèmes Autopilot et FSD Beta ?
- Quelles sont les adaptations à long-terme de l'utilisation de ces systèmes ?
- Comment les conducteurs placent leurs yeux, les mains et les pieds lors de l'utilisation de ces deux systèmes ?

### **Méthodologie**

La recherche a été conduite sur 103 utilisateurs du système de Tesla sous forme d'entretiens semi-structurés afin d'évaluer les impacts des comportements utilisateurs et des perceptions.

Les participants ont été recrutés via les utilisateurs des deux systèmes, en particulier conducteurs nord-américains pour le système FSD Beta (uniquement déployé aux Etats-Unis et Canada). Les entretiens ont été menés via Zoom suivant un protocole conçu via l'outil Qualtrics.

L'entretien a été construit en deux parties : la première partie de l'entretien a été focalisée sur des questions ouvertes tandis que la seconde sur des questions à choix déterminés. Les questions posées ont été répondues aussi bien concernant le système Autopilot et le système FSD Beta afin de comparer les deux usages de manière appropriée.

### **Résultats**

La majorité des répondants était américaine (dont 20 % en Californie) ; 82 % a déclaré avoir accès aux deux systèmes tandis que 18 % uniquement à l'Autopilot. Pour rappel, le FSD Beta est proposé par accréditation par Tesla à un panel choisi de conducteurs, qui sont par ailleurs contrôlés et suivis.

En moyenne, l'utilisation des deux systèmes était respectivement de 27 mois et 8 mois pour les systèmes Autopilot et FSD Beta. En ce qui concerne les fréquences d'utilisation, les fréquences correspondant à chacun des deux systèmes sont déclarées à trois ou quatre fois par semaine en moyenne.

Les résultats ont été répartis en trois catégories : les impacts directs d'adaptation comportementale à court-terme, les impacts indirects d'adaptation comportementale à plus long-terme ainsi que les modifications du comportement de déplacement. De ces trois catégories, quinze sous-catégories ont été construites.

La figure ci-dessous met en avant que les trois impacts mentionnés en majorité à l'usage de l'Autopilot sont liés à la diminution de la charge mentale de conduite, une augmentation de la conduite à une main et une augmentation de l'utilisation du système dans des environnements non appropriés.

Les effets mis en avant par les répondants sont à court-terme plutôt une amélioration de l'attention des conducteurs aux environnements de conduite, corrélée à une augmentation de la charge mentale ressentie pour les usagers du système FSD Beta tandis que les usagers de l'Autopilot ont plutôt tendance à se sentir plus détendus. De la même manière pour la perception du stress, les usagers du FSD Beta se disent plus stressés, tandis que les usagers de l'Autopilot tendent à le voir diminuer.

En termes d'impacts à plus-long terme de l'usage de l'Autopilot, les conducteurs ont tendance à adopter une conduite plus agressive, à développer un sentiment de sûr-confiance au système et ainsi à l'utiliser dans des situations non appropriées. La moitié déclare même devenir complaisant à détournant le regard de la route, certains conducteurs déclarent utiliser le système dans des situations

où ils ont tendance à s'endormir ou à rêver. En outre, un sentiment de dégradation des capacités de conduit est relevé dans le cas de l'Autopilot. En ce qui concerne le FSD Beta, les conducteurs déclarent globalement se sentir passagers du véhicule plutôt que conducteurs, ont tendance à conduire à une main (même constat pour l'Autopilot) et même parfois sans aucune des mains.

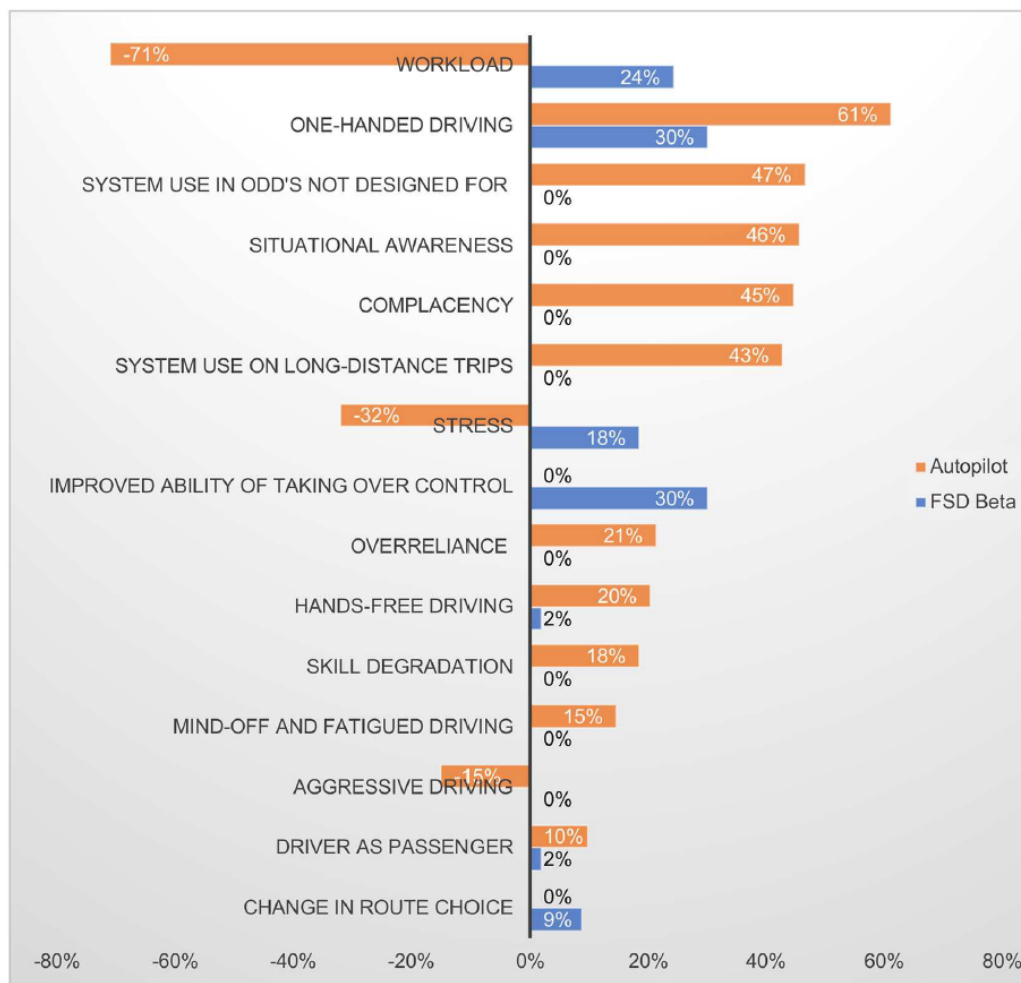


Figure 6 : Résultats obtenus pour les deux systèmes évalués : Autopilot et FSD Beta

Sur le dernier aspect évalué sur les comportements de déplacement, les utilisateurs de l'Autopilot déclarent avoir tendance à se déplacer plus tandis que les utilisateurs du FSD Beta déclarent parfois changer d'itinéraires afin de soumettre la technologie à des situations plus diverses.

L'usage du système FSD Beta, malgré le faible recul des usagers et la faible dissémination parmi les consommateurs, semble plus critique pour les conducteurs d'un point de vue de la perception qu'ils en ont par rapport à l'Autopilot. Outre les résultats obtenus dans le cadre des entretiens, les conducteurs ne semblent pas toujours comprendre correctement le fonctionnement du système et les enjeux de l'utilisation. Le même constat peut être fait pour l'Autopilot, dont le niveau de fiabilité affiché par Tesla est supérieur et confère aux conducteurs des comportements qui traduisent des mésusages et incompréhensions du système et de son fonctionnement.

Autre référence sur la même étude :

- *Who do drivers and automation disengage the automation? Results from a study among Tesla users. Nordhoff et de Winter. (2023)*

g. **Vigilance Decrement During On-Road Partially Automated Driving Across Four Systems.**  
Biondi et al. Human Factors. (2023)

L'étude vise à répondre à deux objectifs de recherche :

- utiliser la tâche de la détection afin d'enquêter sur la décroissance de la vigilance pendant l'utilisation de systèmes d'aide à la conduite, à partir du constat fait antérieurement sur la diminution des performances de la vigilance des conducteurs ;
- explorer les effets de différents systèmes d'aide à la conduite sur les performances de la vigilance des conducteurs.

### **Methodologie**

Les participants ont été recrutés par bouche-à-oreille, courriers et publicités dans la région de Salt Lake City, Utah aux Etats-Unis. Un total de 71 participants, âgés en moyenne de 40 ans et dont 25 femmes a été interrogé. Les répondants ne possédaient pas d'expérience antérieure des systèmes d'aide à la conduite de niveau SAE 2.

Trois indicateurs ont été étudiés : le mode de conduite (automatisé ou manuel), le système étudié (Cadillac Super Cruise, Tesla Autopilot, Volvo Pilot Assist et Nissan ProPILOT Assist), la période de temps. Chaque participant a conduit chacun des quatre systèmes deux fois (la première fois en mode automatisé et la seconde en mode manuel). Chaque essai a duré environ 20 minutes, organisé par tranches de deux minutes afin de pouvoir soumettre différentes situations de détection des événements.

Les systèmes utilisés étaient en capacité d'assurer le contrôle longitudinal du véhicule en poursuite ainsi que le contrôle latéral par centrage dans la voie.

### **Résultats**

Les résultats n'ont mis en avant aucune distinction significative en terme de temps de réponse selon le mode. Les résultats sur la durée ont mis en avant une diminution de la capacité de réponse au cours du temps, quel que soit le mode : le temps de réaction est plus important en réponse à des événements au cours du temps. En outre, les résultats montrent une augmentation du temps de réaction du conducteur plus importante dans le cas de l'utilisation des systèmes d'aide à la conduite au cours du temps par rapport à l'augmentation mesurée dans le cas de la conduite manuelle.

Les capacités de détection des événements ont été différentes selon le véhicule utilisé, et donc selon le système d'aide à la conduite. Les résultats montrent ainsi que le temps de réaction croît en fonction du véhicule utilisé. Encore une fois, les impacts du mode de conduite seul n'ont pas montré de différence significative sur le temps de réaction.

Les temps de réaction mesurés à bord de la Volvo ont été les plus importants. Les analyses statistiques mettent en avant que la capacité de détection dans la Volvo a été significativement moins bonne que dans la Tesla, la Nissan et la Cadillac. Des analyses similaires ont été réalisées sur les trois autres véhicules deux à deux et mettent en exergue des résultats similaires concernant les capacités de détection des événements.

Les résultats mettent donc en avant que les capacités de détection des conducteurs varient et diminuent au cours du temps, indépendamment de l'utilisation de systèmes d'aide à la conduite : le niveau d'attention du conducteur décroît au cours du temps. Bien qu'aucune différence significative n'ait été déterminée entre les modes, la corrélation entre le mode et le temps montre que l'utilisation de systèmes d'aide à la conduite tend à faire décroître l'attention du conducteur de manière plus forte que dans le cas de la conduite manuelle.

Des distinctions ont également été observées concernant le type de véhicule utilisé, tout en mettant en avant que les effets des caractéristiques des véhicules ont des effets sur les performances de détection des conducteurs.

**Autres références remarquables :**

- *User comfort and naturalness of automated driving: The effect of vehicle kinematics and proxemics on subjective response. Peng et al. (Preprint). (2023)*
- *Maturity in Automated Driving on Public Roads: A review of the Six-Year Autonomous Vehicle Tester Program. Guo et al. Texas University. (2022)*
- *Exploring User Comfort in Automated Driving: A Qualitative Study With Younger and Older Users Using the Wizards-Of-Oz Method. Peng et al. Conference Paper. (2023)*