



**HAL**  
open science

## Quelle formation pour les conducteurs de véhicules autonomes ?

Jessy Barré

► **To cite this version:**

Jessy Barré. Quelle formation pour les conducteurs de véhicules autonomes ?. RTS. Recherche, transports, sécurité, 2022, 2022, 19p. 10.25578/RTS\_ISSN1951-6614\_2022-02 . hal-03559655

**HAL Id: hal-03559655**

**<https://hal.science/hal-03559655>**

Submitted on 7 Feb 2022

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

# Quelle formation pour les conducteurs de véhicules autonomes ?

## What kind of training for drivers of autonomous vehicle?

Jessy Barré

© Univ Gustave Eiffel 2022

**Résumé** Dans ce papier, nous présentons une revue de littérature visant à engager une réflexion sur la place de la formation dans l'usage des systèmes de conduite autonome. La présence sur le marché de systèmes d'aide à la conduite de type ADAS, puis dans un futur proche de systèmes plus avancés de délégation de conduite, interroge l'apprentissage et la prise en main de ces systèmes par les conducteurs. En France, il n'existe pas encore de formation spécifique pour l'usage de ces systèmes hormis la présence de notices de fonctionnement, de vidéos explicatives ou parfois de transmission orale de la part des vendeurs de concessions automobiles. Pour apprendre à utiliser ces systèmes les conducteurs agissent donc en essai-erreur directement dans l'environnement routier. L'arrivée des véhicules de niveaux 3 et 4 (selon la taxonomie SAE), modifie le paradigme de conduite manuelle classique. Les conducteurs vont alors coopérer activement avec le système autonome, ce qui amène les constructeurs et les pouvoirs publics à se pencher sur la question de la formation (ex : projet de Loi d'Orientation des Mobilités). Après avoir présenté quelques éléments relatifs à la formation à la conduite manuelle classique, nous présentons des études portant sur l'utilisation et la formation des ADAS et niveau 2, puis des systèmes à délégation de conduite (niveaux 3 et 4).

**Mots-clés** conduite autonome, ADAS, formation, apprentissage, revue de littérature

**Summary** In this paper, we present a literature review to initiating a reflection on the place of training in autonomous driving systems use. The presence on the market of Advanced driver-assistance systems (ADAS),

then in the near future of more automated driving systems, questions the learning and use of these systems by drivers. In France, there is no specific training for the use of these systems apart from the presence of owner manual, videos or sometimes oral transmission from car dealership vendors. To learn how to use these systems, drivers therefore act in trial-and-error mode directly in the road environment. The arrival of level 3 and 4 vehicles (according to the SAE taxonomy), changes the traditional driving paradigm. The drivers will then cooperate actively with the automated systems, which brings the manufacturers and the public authorities to look into the issue of training (eg: law project LOM in France). After presenting some elements relating to driver's education, we present studies on the use and training of ADAS and level 2, then automated driving systems (levels 3 and 4).

**Keywords** automated driving, ADAS, education, training, literature review

## 1. Introduction

Le déploiement dans les véhicules des systèmes dits ADAS (en anglais *Advanced driver-assistance systems* : aide à la conduite automobile), mais également de certains systèmes plus avancés comme la fonction de conduite semi-autonome Autopilot de Tesla, ouvre de nouveaux paradigmes de conduite. L'interaction humain/véhicule change, modifiant la conduite manuelle classique. La Society of Automotive Engineers [1], a réalisé une classification pour définir le niveau d'automatisation des véhicules. Cette classification présente 6 niveaux, répartissant le rôle du conducteur et du système autonome. Dans les premiers niveaux, la conduite manuelle est toujours présente, mais est progressivement remplacée par les fonctions autonomes dans les plus hauts niveaux. Le niveau 5 présente un véhicule entièrement autonome ne nécessitant plus aucune action du conducteur.

Jessy Barré (✉)  
Institut VEDECOM,  
23 bis Allée des Marronniers  
78000 Versailles, France.  
Courriel : jessy.barre@vedecom.fr

Cependant, avant d'arriver au véhicule 100% autonome, les systèmes actuels de niveau 2 (Autopilot de Tesla, ProPilot de Nissan, DS connected pilot de Stellantis, Easy Drive de Renault, etc.), et dans un futur proche des systèmes de niveaux 3, auront une place prépondérante dans l'environnement routier pendant de nombreuses années. Avec ces systèmes, la coopération homme-machine est essentielle, or aucune formation n'existe (en France, l'usage des ADAS ne fait pas partie de l'apprentissage du permis de conduire). Et bien que ces systèmes soient prévus pour prévenir les accidents [2], force est de constater qu'ils soulèvent de nouvelles questions et problématiques, comme la conscience de la situation au moment de la reprise en main [3]. Depuis 2016, au moins 5 accidents mortels ont été identifiés comme étant imputables à la fonction Autopilot de Tesla (niveau 2). Un système de conduite automatisée considéré comme un niveau 3, est également mis en cause dans un accident mortel (accident de Tempe aux États-Unis en mars 2018 impliquant une Volvo XC90 avec un système prototype en test de Uber). La survenue d'accident n'a rarement, voire jamais, une cause unique comme facteur explicatif. Dans de nombreux secteurs (médecine, nucléaire, ferroviaire, etc.), l'accident arrive des suites d'une combinaison de facteurs humains, de dysfonctionnements techniques et de défaillances organisationnelles [4, 5]. Les accidents impliquant l'Autopilot Tesla sont, dans les rapports d'enquêtes, un mélange de problèmes techniques (ex : les capteurs n'ont pas repéré l'obstacle sur la voie), et d'erreurs humaines (ex : le conducteur n'était pas attentif à la route alors qu'il aurait dû l'être). Les rapports du NTSB<sup>1</sup> rappellent que les systèmes actuels nécessitent l'attention continue et complète du conducteur pour surveiller l'environnement routier et être prêt à prendre des mesures pour éviter les accidents [6]. Le fonctionnement des systèmes et les limites inhérentes devraient faire partie d'un apprentissage dépassant la simple information qui est présente dans les notices des constructeurs. Ces dernières pouvant ne pas être lues ou encore mal comprises par les conducteurs. Le manque d'expérience, voire simplement l'absence d'apprentissage (ou tout au moins l'absence de contrôle des compétences), pourraient se révéler être des éléments en cause dans la survenue de ces accidents. Nous présentons dans ce papier une revue de littérature sur la question de la formation des conducteurs pour l'usage de futurs systèmes autonomes. Après avoir présenté quelques éléments concernant l'apprentissage de la conduite manuelle et de la prise en main des systèmes ADAS et niveau 2 (association du radar de régulation de distance et du *lane centering*), nous présentons quelques études récentes sur la formation des systèmes de niveaux 3 et 4. Enfin, quelques pistes de réflexion sont présentées dans la partie discussion et conclusion.

## 2. Méthodologie

Cette revue de littérature peut être divisée en trois sections, une première section portant sur la formation à la conduite manuelle, une seconde section sur la formation aux ADAS et conduite autonome de niveau 2, et enfin une dernière section concernant la formation à la conduite autonome ( $\geq$  niveau 3). Concernant la partie de la revue de littérature portant sur l'apprentissage de la conduite manuelle et la prise en main des ADAS, nous avons consulté des références bibliographiques ayant fait l'objet de multiples citations dans la communauté scientifique ou ayant proposé une revue de littérature sur la question afin de nous assurer de la pertinence des références sélectionnées (ex : [7] pour la formation à la conduite manuelle). Nous avons également consulté des rapports provenant de l'Observatoire national interministériel de la sécurité routière (ONISR en France), du National Transportation Safety Board (NTSB au États-Unis) ou encore du Dutch Safety Board (DSB au Pays-Bas). En ce qui concerne la partie sur la formation à la conduite autonome, nous avons consulté entre juillet 2020 et janvier 2021 les bases de données bibliographiques suivantes : SCOPUS/Science Direct, Taylor & Francis et MEDLINE/PubMed, avec les mots clés "automated driving" ; "automated vehicle" ; "autonomous driving" ; "autonomous vehicle" ; "autonomous car" et "vehicle automation", tous associés à "training" ou "learning". Nous avons par la suite sélectionné les papiers présentant des expérimentations sur simulateur ou sur route avec au préalable une formation pour la prise en main du système autonome, en privilégiant les études de niveau 3 ou 4. Les articles ne détaillant pas suffisamment la méthodologie de formation n'ont pas été retenus.

## 3. L'apprentissage de la conduite manuelle

L'âge légal pour l'obtention du permis de conduire varie fortement d'un pays à l'autre. Dans la majorité des pays d'Europe, l'âge de l'obtention est de 18 ans, voire 17 ans pour quelques pays (ex : Allemagne). Aux États-Unis par exemple, l'obtention du permis est possible dès 16 ans (certains états proposent la conduite accompagnée dès 14 ans). L'apprentissage de la conduite (en Europe, en Amérique du Nord, etc.) est généralement divisé en deux formations : la formation théorique et la formation pratique. La formation théorique vise à apprendre le Code de la route (ex : la signalisation, les règles, les dangers, etc.), mais également à mettre en situation ex-situ le futur conducteur afin qu'il s'entraîne à détecter les dangers et anticiper les bons comportements à adopter. Des ouvrages et des logiciels, présentant des images avec des QCM par exemple, permettent à l'apprenant de se familiariser avec les situations de conduite. En France, le Code de la route est appris à travers la lecture d'un ouvrage

1. Le NTSB (National Transportation Safety Board) est une agence indépendante du gouvernement des États-Unis qui est responsable notamment des enquêtes sur les accidents aéronautiques, routiers, maritimes et ferroviaires.

(ex : Code de la route Rousseau), et l'entraînement à domicile et/ou directement à l'auto-école sur des applications dédiées présentant des slides fixes. En Angleterre et en Australie, une épreuve supplémentaire avant la partie pratique est le *hazard perception test*<sup>2</sup>, présentant des extraits vidéos dans lesquels le candidat doit identifier la source de danger en agissant sur un écran tactile. Ce test permet de mesurer sa capacité à reconnaître les situations potentiellement dangereuses sur la route et à réagir de manière appropriée. Ces formations théoriques peuvent être renforcées par l'usage de simulateurs de conduite pouvant être présents dans certaines auto-écoles<sup>3</sup>. La formation pratique vise quant à elle à entraîner les compétences techniques de bases ou procédurales (freinage, manœuvres, etc.), puis les compétences de haut niveau (ex : situation de danger). La formation pratique peut prendre trois formes en fonction des pays :

(1) La formation encadrée par des professionnels de la conduite (ex : en France elle est dispensée par des auto-écoles, dans lesquelles l'apprenant suivra, en plus du code, 20 heures de conduite minimum<sup>4</sup>). Le nombre d'heures obligatoires de conduite varie d'un pays à un autre. Par exemple, dans certains états des États-Unis (ex : Floride) il n'y a pas de minimum d'heures obligatoire de conduite pour pouvoir passer l'épreuve finale. Une fois le code obtenu par les candidats, ces derniers peuvent s'inscrire directement pour l'examen de conduite, viennent avec leur propre véhicule et passent l'examen pratique<sup>5</sup>.

(2) La conduite accompagnée ou supervisée (Apprentissage anticipé de la conduite/AAC en France à partir de 15 ans). Dans la conduite accompagnée, un conducteur expérimenté est présent dans le véhicule pour permettre au jeune conducteur d'acquérir les compétences nécessaires à l'obtention du permis de conduire. En France, après une formation initiale en école de conduite avec un formateur professionnel (formation théorique/Code de la route et formation pratique d'une durée minimum de 20 heures), le jeune apprenant conduit sous le contrôle d'un accompagnateur (souvent les parents) dans des conditions de circulation les plus variées possibles durant au minimum 4 à 6 mois et 3000 km, avant le passage des épreuves pratiques et l'obtention du permis de conduire. Les avantages évoqués sont multiples : augmente les chances de réussite à l'examen (74% contre 55% en apprentissage classique), diminution du risque d'accident ou encore la réduction de la période probatoire (deux ans au lieu de trois années)<sup>6</sup>.

(3) Le permis gradué<sup>7</sup>. Il s'agit d'une restriction courant dans les premiers mois de la conduite après avoir eu le permis. En France on parlera de permis probatoire, et dans les pays anglo-saxons de *Graduated driver licence* (GDL). Le conducteur novice se verra dans l'impossibilité de conduire de nuit ou de transporter des passagers, pourra avoir des limitations de la vitesse sur certains axes routiers ou encore voir certains points de son permis bloqués. Aux États-Unis, au Canada, en Australie et en Nouvelle-Zélande, le GDL comprend habituellement trois phases : (a) l'apprentissage supervisé, le candidat est accompagné d'un conducteur expérimenté et conduit dans le trafic ; (b) la pratique indépendante, le candidat conduit seul, mais avec des restrictions ; (c) le permis de conduire sans restriction/final [8]. Concernant la première phase (apprentissage supervisé), celle-ci peut être totalement exempte de formation initiale (voir (1) ci-dessus).

Les taux d'accidents diminuent avec l'expérience, de sorte que plus on conduit, plus le taux d'accidents par kilomètre parcouru est bas [9]. Cependant, il n'existe pas à ce jour de consensus tranché dans la littérature scientifique sur l'efficacité des différentes formations existantes [7, 10]. Ces divergences peuvent provenir de résultats contradictoires comme nous le verrons ci-dessous ou être expliquées par des biais méthodologiques au sein des études (population non représentative, pas de groupe contrôle, spécificité de chaque pays, différences dans le type/contenu de la formation, etc.). Concernant la conduite accompagnée, ou simplement la formation pratique à la conduite dans certains pays, ces formations permettraient de fortifier l'expérience des apprenants en améliorant leurs compétences, mais pourraient aussi générer de la sur-confiance débouchant sur un risque accru d'accidents. Dans la littérature scientifique, nous pouvons trouver des résultats en faveur de la formation pratique [11] ou de la conduite accompagnée [12] et d'autres qui ne trouvent pas d'effets significatifs par exemple sur la réduction du taux d'accidents (pour l'AAC ; [13]) ou sur certaines compétences comme la perception du danger [14]. Certaines études soulignent également que la conduite supervisée ou accompagnée pourrait ancrer certaines mauvaises habitudes ou comportements à risque acquis au fil du temps par les parents chez les jeunes conducteurs [15, 16].

La formation pratique initiale est elle-même parfois discutée : c'est le cas de l'étude menée dans les années 1980 en Géorgie (USA). Du fait de l'observation d'une surmortalité chez les jeunes conducteurs, un programme

2. <https://www.rms.nsw.gov.au/roads/licence/driver/tests/hazard-perception-test.html> ; <https://www.gov.uk/theory-test/hazard-perception-test>

3. Les avantages relatifs à l'introduction de cette technologie dans le cadre d'une formation restent en discussion dans la communauté scientifique, peu d'études se sont penchées sur la question, et la généralisation des résultats reste hasardeuse, notamment à cause des différences inhérentes au matériel disponible (hardware, réalisme/immersion, etc.). Pour plus d'information voir notamment [88].

4. Correspondant au minimum légal (Arrêté du 22 décembre 2009 relatif à l'apprentissage de la conduite des véhicules à moteur de la catégorie B dans un établissement d'enseignement agréé).

5. <https://www.flhsmv.gov/driver-licenses-id-cards/general-information/>

6. <https://www.securite-routiere.gouv.fr/>

7. Bien qu'il ne s'agisse pas de formation dans le sens classique du terme (transmission de connaissances/savoir-faire par un formateur/expert à l'apprenant), ce permis « restrictif » permet aux jeunes conducteurs de développer progressivement leurs compétences [89], nous parlerons donc ici d'auto-formation.

de formation avait été lancé auprès de 16 000 étudiants [17]. Les participants du programme ont été assignés à trois conditions expérimentales : le *Safe Performance Curriculum* (SPC), programme éducatif traditionnel développé par le National Highway Traffic Safety Administration (agence fédérale américaine des États-Unis chargée de la sécurité routière), comprenant environ 30 heures en classes, 16 heures en simulation et 6 heures de conduite réelle ; Le *Pre-Driver Licensing Curriculum* comprenant 20 heures de cours théoriques, pratiques et de simulation, avec une seule heure dédiée à la conduite en situation réelle pouvant être complétée par des sessions de conduite avec les parents ; et le groupe Contrôle, dans lequel les élèves n'ont reçu aucun programme éducatif si ce n'est la possibilité de conduire avec les parents et/ou d'être formés par des auto-écoles privées. L'étude révèle que les étudiants affectés aux programmes de formations avaient plus de chance d'obtenir un permis de conduire, mais étaient davantage sujets aux accidents de la route et aux infractions au Code de la route que les étudiants du groupe Contrôle. Cela pouvait s'expliquer par une sur-confiance avec un accès au permis de conduire certainement trop précoce. Des résultats similaires ont été obtenus en Europe du Nord où un effet de sur-confiance pouvait être observé chez les jeunes conducteurs ayant suivi des formations sur routes glissantes, les amenant par exemple à prendre davantage de risque ou à conduire plus vite [18]. Pourtant, une autre étude états-unienne également, mais plus récente, qui portait sur plus de 150 000 adolescents au Nebraska montre que les jeunes conducteurs ayant suivis une formation pratique pré-permis ont moins d'accidents et d'infractions (notamment liés à l'alcool) dans les deux années qui suivent l'obtention du permis de conduire [19].

De nombreuses études se sont également penchées sur les effets de la conduite graduée [20, 21], participant à préférer cette solution comme vecteur de sécurité routière (ex : le GDL). Ces études l'identifient comme la solution la plus efficace, permettant par exemple de limiter le nombre d'accidents dans les premiers mois de conduite après l'obtention du permis de conduire [21, 22, 23]. Cependant, les jeunes et les conducteurs novices restent encore à ce jour la population la plus fragile concernant la sécurité routière, et l'efficacité du permis gradué reste encore discutée [24]. L'accès au permis sans restriction est souvent plus rapide lorsque les conducteurs ont suivi la conduite accompagnée (c'est le cas en France notamment) ou lorsqu'ils ont suivi des formations intermédiaires : cet accès anticipé pourrait être à l'origine d'un taux d'accident plus élevé dans les premiers mois de la conduite sans restriction [25, 26, 27].

Au vu de ces différents éléments, il ressort qu'une méthode d'apprentissage reposant sur une formation théorique et pratique associée à un accès graduel au permis de conduire, reste la solution la plus efficace pour prévenir les accidents de la route. Cependant, la conduite reste une activité complexe dont la maîtrise demande de l'expérience et de nombreux facteurs internes et externes aux individus complexifient cet apprentissage (voir travaux Matrice GDE<sup>8</sup> ; [7, 28, 29]).

#### 4. Les systèmes ADAS

Les systèmes ADAS « sont conçus pour améliorer la sécurité de conduite en réduisant pour cela le risque d'erreur humaine. Ils peuvent agir de différentes façons, que ce soit en donnant au conducteur des informations supplémentaires sur l'état de l'environnement (via une interface de communication multimodale : sonore, visuelle, tactile, etc.), ou en l'assistant dans sa tâche de conduite. On parle dans ce dernier cas de coopération homme-machine » [30]. C'est dans cette dernière catégorie que la formation paraît la plus importante. En effet, l'introduction des ADAS au sein des véhicules, toujours plus nombreux et complexes, modifie l'activité de conduite manuelle. Or, en France les ADAS ne font pas partie de la formation au permis de conduire. Cette absence de formation encadrée est due à de nombreuses raisons comme l'indisponibilité de ces systèmes sur de nombreux véhicules, leur nombre conséquent et leur spécificité ou encore les différents types d'IHM de chaque constructeur. Cependant, le 9 juillet 2019, le Conseil national de la sécurité routière (CNSR) a adopté huit recommandations pour lutter contre l'insécurité sur les routes. Parmi elles, une recommandation porte spécifiquement sur les ADAS qui tendent à se généraliser sur les véhicules : « Impliquer les constructeurs dans l'information et la formation à la bonne utilisation des aides à la conduite : alors que de plus en plus de véhicules sont équipés de dispositifs d'aide à la conduite (ADAS), comme le régulateur adaptatif de vitesse, le « Lane Departure Warning » ou le freinage d'urgence automatisé, il semble essentiel d'agir en faveur d'un emploi correct et éclairé de ces derniers par les conducteurs. En effet, pour être gage d'une réelle sécurité ils doivent être utilisés en toute connaissance de leurs potentialités et de leurs limites par le plus grand nombre. Pour y parvenir, cette recommandation propose d'inciter les constructeurs à s'engager dans le financement et la diffusion de tutoriels qui seraient mis à disposition des conducteurs sur une plateforme officielle dédiée. Ces tutoriels pédagogiques, aisément accessibles, présenteraient ainsi l'utilisation des ADAS de chaque marque et modèle de véhicule ».

8. La matrice GDE (Goals of Drivers Education) développée par des chercheurs d'Europe du Nord (Norvège, Suède et Finlande), permettrait de favoriser l'apprentissage et de prévenir les accidents. L'objectif de cette matrice est de développer chez l'apprenant trois types de compétences : (1) des savoirs et des savoir-faire (un bon conducteur doit être capable de conduire un véhicule et de faire face aux conditions de circulation normales), (2) la compréhension des facteurs de risque qui dégradent le comportement, et (3) des compétences d'auto-évaluation (processus par lequel un individu tente d'obtenir par lui-même un retour sur ses actions personnelles).

Parmi les ADAS nous pouvons évoquer les systèmes d'aide pour le contrôle longitudinal (ex : antiblocage des roues/ABS, limiteur et/ou régulateur de vitesse), latéral (ex : correcteur électronique de trajectoire, aide au maintien dans la file de circulation), les systèmes d'alerte (ex : avertisseur d'angle mort, alerte de franchissement involontaire de ligne) et les aides au stationnement (ex : caméra de recul, stationnement automatique). Dans la catégorisation SAE, la majorité de ces systèmes actuels sont considérés comme des niveaux 1, seuls les systèmes plus avancés peuvent être considérés comme des niveaux 2, comme par exemple le régulateur de vitesse adaptatif ou l'assistance au maintien de voie, voire considérés comme des niveaux supérieurs à 3 comme le valet de parking [31]. Ces systèmes doivent permettre d'éviter la survenue des accidents en accompagnant le conducteur dans sa conduite, de manière informative (franchissement de ligne, via une alarme par exemple) ou active (ex : ABS). L'erreur humaine étant souvent mise en avant pour promouvoir l'intérêt sécuritaire des ADAS (ou de tout autre système autonome) : si l'humain est à l'origine de la majorité des accidents<sup>9</sup>, et donc s'il est retiré de la boucle de contrôle du véhicule, alors il serait logique que le taux d'accident diminue [32]. Ce point de vue est à relativiser, car dans le cas des ADAS (mais également des systèmes de CA/conduite autonome de niveaux 2 actuels, 3 et 4 futurs), l'humain reste dans la boucle et coopère avec le système autonome. L'interaction qui en résulte peut-être à l'origine d'erreurs et donc d'accidents, d'autant plus que la formation à l'utilisation de ces systèmes n'est pas contrôlée. En effet, l'activité de conduite est impactée par l'apparition de ces systèmes, et la coopération entre le conducteur et le système devient alors centrale dans certaines situations. Même l'interaction avec des systèmes simples peut avoir une incidence sur la conduite. Dans sa thèse, Mas [30] évoque l'exemple de l'ABS (système anti-blocage des roues) : « ce système vise à minimiser les risques de pertes de contrôle du véhicule en empêchant le blocage des roues lors du freinage. Mais, lors de son déclenchement provoquant une forte vibration de la pédale de frein, certains conducteurs, surpris par cette sensation inhabituelle, ont instinctivement relâché le pied de la pédale de frein ». L'erreur humaine pourrait se déplacer sur de nouvelles situations, jusque-là inconnues. Le risque d'accident pourrait diminuer dans les situations de conduites « classiques<sup>10</sup> » gérées par le système autonome (ex : système de freinage automatique d'urgence<sup>11</sup>), mais apparaître ailleurs dans des activités dépassant la conduite manuelle traditionnelle (ex : interaction entre le conducteur et les systèmes autonomes via leurs activations

et désactivations). Dans la littérature scientifique, les avantages au niveau de la sécurité restent en discussion en ce qui concerne les ADAS « coopératifs<sup>12</sup> » humain/système. Certains auteurs soulignent bien évidemment les aspects positifs des ADAS (ex : freinage automatique d'urgence : [33]), mais d'autres mettent en avant des résultats plus mitigés évoquant des éléments comme le mésusage des systèmes, la surcharge mentale, la somnolence due à la monotonie, des temps de réaction plus longs ou encore de la sur-confiance engendrant une déconnexion de la situation de conduite voire la probabilité de s'engager dans une tâche secondaire [34, 35, 36, 37, 38]. Les conducteurs eux-mêmes peuvent considérer positivement ces systèmes du point de vue de la sécurité, tout en soulignant les mauvaises habitudes et les distractions comme facteurs de dangers [39].

## 5. La formation aux ADAS et systèmes de niveau 2

Le manque de formation est un élément qui ressort de manière récurrente dans de nombreuses études. Comme l'utilisation des ADAS par les conducteurs n'est pas au programme des formations du passage de permis B en France, le conducteur apprend seul à se servir des systèmes au travers de vidéos en ligne (YouTube ou vidéos fournies par le constructeur), des instructions en face-à-face avec des professionnels (ex : vendeurs) ou encore des manuels ou notices d'utilisation [40]. Cet auto-apprentissage aboutit à des essais-erreurs directement sur la route. Selon Wintersberger et Riener [41], de nombreux incidents survenus avec des ADAS pourraient être évités grâce à formation efficace/dédiée du conducteur sur les fonctionnalités et des limites du système. Par exemple, Beggiato et ses collaborateurs [42, 43], ont étudié un système ADAS se banalisant de plus en plus ces dernières années, à savoir le régulateur de vitesse adaptatif (l'ACC pour Adaptive Cruise Control en anglais). Leurs études révèlent que les formations par essai-erreur sont insuffisantes pour une utilisation sécuritaire et recommandent de rappeler périodiquement aux utilisateurs les limites du système. Dans une autre étude portant sur l'utilisation d'un système d'alerte anticollision (collision warning), les auteurs préconisent un entraînement préalable pour que ce système soit utilisé d'une manière sûre et efficace [44]. Dans une étude tchèque, des interviews menées auprès de 38 conducteurs sur leur utilisation de deux types d'ADAS (un avertissement de collision avant/FCW pour Forward Collision Warning et un régulateur de vitesse

9. L'erreur humaine interviendrait dans 92% des accidents [90], comme par exemple l'inattention [91].

10. Par « classique » nous entendons des situations qui relèvent de l'activité de conduite manuelle telle qu'elle est actuellement dispensée dans les écoles de conduite : effectuer un trajet d'un point A à un point B avec son véhicule en agissant directement sur la trajectoire (contrôle longitudinal) et la vitesse (contrôle latéral) par l'intermédiaire de commandes (volant, pédales, commodos, etc. ).

11. <https://aleteia.org/2018/01/06/traffic-deaths-down-in-japan-due-to-autonomous-driving-technology/>

12. Certains ADAS sont actifs (ex : ABS) et d'autres sont passifs (ex : Lane Departure Warning). Concernant les systèmes ADAS que nous appelons coopératifs, il s'agit de systèmes où une interaction effective entre le conducteur et le système est de rigueur et qui perdure dans le temps. Cette interaction demande alors une coopération durable entre le conducteur et le système : le système prend à sa charge une partie de l'activité de conduite (ex : la vitesse avec l'ACC/Adaptive Cruise Control, radar de régulation de distance en français), mais le conducteur reste dans la boucle de contrôle (ex : maintien de voie avec le volant), et peut à tout moment arrêter le système et reprendre la main (ex : en cas d'accident sur la voie).

adaptatif/ACC), montre que la plupart des propriétaires ne lisent pas le manuel utilisateur et se fient à leur propre expérience par essais et erreurs ou bien à partir des informations orales fournies par le concessionnaire automobile. Les auteurs préconisent une formation préalable sur le fonctionnement de ces ADAS car les limites des systèmes ne sont pas connues des utilisateurs et pourraient générer des surprises lorsque certaines situations sont rencontrées dans le trafic réel [45]. Ces résultats rappellent ceux de Cahour et Forzy [46], dans lequel des utilisateurs d'un régulateur de vitesse s'étaient imaginés, avant usage, un système idéalisé. Les auteurs ont présenté le système aux conducteurs à travers une formation (soit une notice papier orientée fonction, soit une notice orientée fonction intégrant les limites, soit encore une vidéo in situ pour décrire le système), ce qui a eu pour effet de diminuer leur confiance. Cependant, montrer les limites du système (ex : certains utilisateurs ne comprenaient pas pourquoi le système pouvait prendre de la vitesse dans une pente), permet aux conducteurs d'avoir une compréhension plus détaillée du système et certainement de les prémunir de mauvaises utilisations.

Pour Ebnali, Lamb, Fathi et Hulme [47] les notices fournies par les constructeurs sont insuffisantes, car elles se limitent aux informations opérationnelles de base et ne couvrent pas la gamme complète des scénarios qu'un conducteur peut rencontrer sur les routes. Elles ne fournissent également que des règles sous forme d'instructions textuelles, ce qui peut entraîner un apprentissage limité : acquisition de connaissances déclaratives exclusivement et non prise en compte des compétences cognitives et procédurales supérieures. Enfin, bien que les manuels soient faciles d'accès, ils sont longs (certainement probable que les propriétaires ne les liront pas attentivement) et peuvent être susceptibles d'être mal interprétés, mal mémorisés ou encore oubliés. Cette analyse fait écho à l'étude d'Endsley [48] qui déclare que les explications présentes dans le mode d'emploi de Tesla sont peu compréhensibles et ne détaillent pas précisément les fonctionnalités et la manière de fonctionner de l'Autopilot. Forster, Hergeth, Naujoks, Krems & Keinath [49], ont identifié un certain nombre de limites dans l'usage des manuels pour l'apprentissage des fonctions autonomes :

- Les apprenants décident eux-mêmes de la quantité qu'ils liront et même de l'ordre des informations qu'ils traiteront,
- En raison de la prédominance des informations textuelles, les utilisateurs peuvent se perdre dans la complexité de l'information,
- Les éléments de l'IHM sont présentés séparément sans relier les différents composants de fonctionnement à des éléments graphiques ou auditifs. Par conséquent, les apprenants doivent transférer les connaissances acquises à partir de descriptions abstraites des éléments de l'IHM au contexte réel,

- Dans les manuels seulement une petite partie concerne les fonctions autonomes, qui peut être noyée dans une énorme quantité de texte (parfois jusqu'à 500 pages), parmi des données techniques, des informations de maintenance ou de réparation.

Dans leur étude, Zahabi et collaborateurs [50] se sont intéressés à une population de conducteurs âgés de 63 ans en moyenne ( $SD = 5$  ; 10 hommes/10 femmes), n'utilisant pas d'ADAS dans leur véhicule. Deux systèmes ont été évalués dans un simulateur de conduite : l'aide au maintien dans la file de circulation (Lane keeping assist system ou LKAS) et le régulateur de vitesse adaptatif (Adaptative cruise control ou ACC), pouvant être utilisés simultanément, créant ainsi un niveau 2. Les conducteurs ont été assignés à deux groupes expérimentaux : (1) apprentissage des ADAS via vidéo ou (2) apprentissage des ADAS par démonstration. Chaque session de formation durait 30 minutes par participant, et était précédée d'un test pratique de 5 minutes pour se familiariser avec le simulateur. Les participants de la condition vidéo ont regardé de manière passive des vidéos décrivant le fonctionnement et les caractéristiques des systèmes ACC et LKAS (ils étaient cependant installés dans le simulateur et pouvaient regarder l'interface). Pour l'autre condition, les participants étaient formés par un instructeur et pouvaient tester l'activation des systèmes. Les auteurs se sont efforcés à conserver le même niveau d'information entre les deux conditions : objectif des ADAS (risques et avantages), compréhension des ADAS (capacités et limites), transition entre ADAS et mode manuel ou encore gestion des situations critiques (fonctionnement du système). Chaque participant a ensuite complété trois essais sur le simulateur (16 min environ par essai, repos de 5 min entre les essais), chacun composé de huit segments de conduite qui alternaient entre contrôle manuel et ADAS (ACC combiné au LKAS). Les participants ont été invités à activer les ADAS dès que les exigences d'activation du système le permettaient. Pour chaque essai, les participants devaient suivre un véhicule de tête, qui changeait de vitesse au hasard. Les auteurs s'attendaient à obtenir des résultats en faveur du groupe démonstration avec une meilleure performance de conduite, moins de regards hors de la route (sur l'interface par exemple) et une charge mentale plus faible. Pourtant, les résultats ont révélé que la formation par vidéo était plus efficace que la formation par démonstration pour améliorer les performances de conduite, réduire le nombre de regards hors de la route et diminuer la charge mentale. Pour les auteurs la formation passive et observationnelle, reposant notamment sur le principe d'interactivité, est plus efficace chez les conducteurs d'un certain âge (>60 ans). En effet, pouvoir mettre pause à tout moment ou relancer la vidéo au besoin (ce qui a été fait apparemment au cours de l'étude par certains participants), pourrait favoriser la création d'un modèle mental plus efficace. Cependant, le faible nombre de participants dans cette étude et l'absence de groupes d'âge différents ne permettent pas de confirmer et de généraliser ces résultats.

## 6. Conduite autonome et risques

Les problèmes de conception IHM des ADAS ou des systèmes autonomes actuels de niveaux 2 peuvent apparaître comme responsables de certains incidents liés à leur utilisation. La confusion de mode est régulièrement citée comme un facteur de risque [48, 51, 52], qui pourrait être aggravé par une IHM non efficiente. Par exemple chez Tesla les icônes d'activation des fonctions ACC et maintien de cap sur l'écran de contrôle sont trop discrètes, voire non discriminantes [53]. Dans son étude Endsley [48], évoque de mauvaises manipulations dans les commandes (les commandes d'activation de l'Autopilote sont trop proches du commodo de clignotant), et chez Wilson, Yang, Roady, Kuo, & Lenné [52], les participants désactivent parfois involontairement le mode autonome (en tournant le volant ou en déplaçant la manette du régulateur de vitesse vers l'avant). Une des recommandations dans leur étude était que « les systèmes audiovisuels doivent fournir aux conducteurs des indicateurs saillants et appropriés concernant le mode dans lequel ils se trouvent... par exemple, les repères visuels doivent avoir une taille et un contraste de couleur suffisants, et de préférence être détectables dans la vision périphérique du conducteur ». L'accident du 22 janvier 2018 lors duquel une Tesla, avec l'Autopilot enclenché, s'est encastrée dans un camion de pompier à l'arrêt aux États-Unis, laisse apparaître que la version du système pouvait souffrir de problèmes de conception. En effet, lors des 13 minutes précédant le crash, le système a régulièrement émis des alertes « hands-off », montrant que le conducteur n'avait pas toujours les mains sur le volant. De plus, « le pilote automatique n'a pas détecté le couple du volant du conducteur au cours des 3 dernières minutes 41 secondes avant l'accident » [54]. Dans son rapport, le NTSB en charge de l'enquête, réitère une des recommandations émises lors d'une précédente enquête en stipulant de « développer des applications pour détecter plus efficacement le niveau d'engagement du conducteur et alerter le conducteur lorsque l'engagement fait défaut alors que les systèmes de contrôle automatisé du véhicule sont utilisés ». Le NTSB évoque également de possibles limites du système de surveillance actuel : « comme la conduite est une tâche intrinsèquement visuelle et qu'un conducteur peut toucher le volant sans évaluer la chaussée, les conditions de circulation ou les performances du véhicule, le contrôle via couple du volant fournit un mauvais moyen pour déterminer le degré d'engagement du conducteur avec la tâche de conduite ». Cependant, parmi les causes principales, le rapport met en avant une dépendance excessive du conducteur à l'automatisation du véhicule, un manque de réaction du conducteur face à la situation critique et également une mauvaise utilisation du système malgré la présence d'une notice d'utilisation du système fourni par le constructeur. Bien que nécessaire, afin de développer des IHM efficaces et adaptées aux futurs conducteurs, suivre des recommandations de conception [49] ou

appliquer une démarche de conception centrée utilisateur [55], paraît insuffisant au regard des différents éléments discutés ici. Le manque de formation et d'expérience dans l'usage de ces systèmes reste une explication majeure des défaillances observées. Cela créerait chez les conducteurs des modèles mentaux inappropriés, voire inexacts des systèmes utilisés (ADAS et au-delà), avec par exemple la formalisation d'hypothèses erronées sur le fonctionnement du système. Il est donc nécessaire de faciliter la compréhension des systèmes en présentant les possibilités et les limites aux conducteurs.

La notion de confiance est un autre objet d'étude. La confiance envers l'automatisation peut fluctuer au fur et à mesure de l'utilisation du système autonome. Si les opérateurs observent des erreurs récurrentes, leur confiance diminuera et ils auront tendance à surveiller davantage ou à prendre le contrôle si cela est possible. Cependant, si le système ne commet pas d'erreur pendant de nombreux cycles (ou phase d'utilisation), alors un effet de sur-confiance peut apparaître [48]. Une sur-confiance du conducteur envers le système autonome peut amener à une dépendance excessive, une mauvaise utilisation/abus (par exemple à des moments où le système ne doit pas être utilisé : utilisation de l'Autopilot Tesla sur route sinueuse), ou une diminution de la vigilance/surveillance du système. Dans l'étude sur simulateur de Greenlee, DeLucia & Newton [56], les conducteurs d'un véhicule de niveau 3/4 (c'est-à-dire conduite autonome sur les positions longitudinales et latérales), semblent avoir des niveaux d'engagement plus faibles et des réactions plus lentes vis-à-vis des dangers de la route, augmentant la probabilité d'accidents. Les résultats de l'étude de Strand, Nilsson, Karlsson, et Nilsson [57] indiquent que les performances de conduite se dégradent lorsque le niveau d'automatisation augmente.

Dans l'industrie et l'aéronautique, l'impact du facteur humain sur les systèmes autonomes est un objet d'étude depuis de nombreuses années [58]. Dans les années 80 Bainbridge [59] évoque « l'ironie de l'automatisation » : les systèmes autonomes visent à remplacer les opérateurs, notamment afin de faciliter la prise de décision et limiter les erreurs humaines, mais plus les systèmes sont avancés et complexes, plus la présence humaine est importante afin de superviser, réaliser de la maintenance ou des ajustements. Endsley [48] parle également d'un autre paradoxe : « plus on ajoute de l'autonomie à un système et plus on augmente sa fiabilité et sa robustesse, moins les opérateurs humains ont une bonne conscience de la situation et moins ils seront en mesure de prendre le contrôle manuel en cas de besoin ». La formation, au travers de cours théorique ou pratique, permet d'optimiser l'interaction homme/machine en limitant le mésusage du système et l'apparition d'erreurs [60, 61]. La formation permettrait également d'éviter de créer chez les opérateurs, les pilotes ou les conducteurs un sentiment

de sur-confiance lié à l'apparition du phénomène de complaisance ou du biais d'automatisation<sup>13</sup> :

– Le phénomène de complaisance peut être défini comme un « état psychologique caractérisé par un faible indice de suspicion » [62], et une « auto-satisfaction pouvant entraîner une non-vigilance fondée sur une hypothèse injustifiée d'un état satisfaisant du système » [63, 64]. C'est dans le domaine de l'aéronautique que ce phénomène est étudié pour la première fois. Les opérateurs (ex : pilote ou contrôleur aérien) pouvaient ne pas procéder à des vérifications suffisantes vis-à-vis de l'état du système, en supposant que « tout allait bien », alors que des situations dangereuses se profilaient pouvant aboutir à un accident [65]. La complaisance est considérée comme un des facteurs majeurs dans les accidents d'avion [62, 66, 67], mais également dans tous les autres domaines dans lesquels l'automatisation est utilisée comme la conduite autonome [48]. Le phénomène de complaisance est décrit dans le rapport du NTSB concernant l'accident routier impliquant un véhicule autonome (niveau 3/automatisation conditionnelle) qui a provoqué le décès d'un piéton en 2018 aux États-Unis. Le conducteur ne regardait pas la route et le système (en phase de test sur route ouverte ; Prototype Uber) a détecté le piéton 5.6 secondes avant l'impact sans déclencher le freinage d'urgence. La conclusion du NTSB est que cet accident est dû à « l'incapacité du conducteur du véhicule à surveiller l'environnement de conduite et le fonctionnement du système de conduite automatisé car distrait visuellement tout au long du voyage par son téléphone portable personnel », soulignant de fait de la complaisance du conducteur vis-à-vis du système autonome [68].

– Le biais d'automatisation tel que le conçoit Cummings « se produit dans les prises de décision lorsque les humains ont tendance à ignorer ou à ne pas rechercher les informations contradictoires à la lumière d'une solution générée par un ordinateur qui est acceptée comme correcte, surtout dans des situations critiques » [69]. Les erreurs humaines résultant du biais d'automatisation peuvent être décomposées en deux catégories, les erreurs de commission et les erreurs d'omission. Les erreurs d'omission se produisent lorsque les humains ne remarquent pas les problèmes, car l'automatisation ne les alerte pas. Dans les systèmes de conduite actuels (ADAS et CA de niveau 2), la tâche de surveillance est primordiale et ce type d'erreur aboutit généralement aux accidents. Les erreurs de commission se produisent quant à elles lorsque les humains suivent à tort des directives ou des recommandations automatisées, sans par exemple vérifier par eux même ou sans prendre en compte d'autres sources d'informations (ex : confiance excessive envers le système).

Dans la littérature, trois facteurs principaux sont cités comme pouvant aboutir à l'apparition de ces biais. (1) la

tendance humaine à choisir l'approche la moins coûteuse cognitivement lors de la prise de décision (théorie du Cognitive miser, voir [70]), (2) la tendance des humains à considérer les aides automatisées comme ayant une capacité analytique et d'action supérieures à la leur (estimer par exemple que les capacités d'un freinage automatique d'urgence est obligatoirement meilleur que soi, ce qui pourrait amener le conducteur à ne pas freiner ou à freiner plus tardivement), (3) la tendance des humains à réduire leurs propres efforts lorsqu'ils partagent des tâches, soit avec une autre personne, soit avec une aide automatisée : « dans la mesure où les utilisateurs humains perçoivent une aide automatisée comme un membre de l'équipe, ils peuvent se percevoir comme moins responsables du résultat et, par conséquent, réduire leurs propres efforts de surveillance et d'analyse » [65]. Notons tout de même que ces phénomènes peuvent apparaître aussi bien chez les novices que chez les experts.

Les programmes de formations doivent donc être conçus autour des capacités et limites des systèmes. Par exemple « exposer les opérateurs à des échecs d'automatisation durant la phase de formation diminue considérablement la complaisance et représente donc un moyen approprié pour réduire ce risque » [61]. Intégrer des erreurs délibérées dans la formation peut s'avérer plus efficace pour réduire le biais d'automatisation que simplement informer les utilisateurs que des erreurs peuvent survenir. Ces phénomènes doivent également être connus des apprenants : dans une autre étude, la formation qui mettait explicitement l'accent sur les effets négatifs du biais d'automatisation, a réduit le nombre d'erreurs de commission (lorsque les humains suivent à tort des directives ou des recommandations du système autonome ; [71]). Casner et Hutchins [72], ont développé à partir des connaissances en facteurs humains sur l'automatisation dans l'aéronautique une série d'items répartis dans trois catégories. Il s'agit de connaissance que chaque conducteur devrait posséder pour utiliser les véhicules partiellement autonomes en toute sécurité : (1) Connaissances sur l'automatisation (ex : Quels aspects de la tâche de conduite sont assumés ou assistés par chaque fonction de l'automatisation ? ; Comment chaque fonction d'automatisation peut être activée et désactivée par le conducteur ?), (2) Connaissances sur les conducteurs (ex : Les humains ont tendance à surestimer leurs capacités à être attentifs et remarquer les événements inhabituels ; Les pilotes et conducteurs expérimentés peuvent ne pas voir les choses qui se passent sous leurs yeux), (3) La tâche de conduite (ex : La voiture ne peut pas conduire elle-même, pour n'importe quelle durée que ce soit ; Le conducteur sera probablement tenu responsable de tout ce qui se passe). Ebnali, Hulme, Ebnali-Heidari et Mazloumi [73], ont identifié dans la littérature trois approches pour appréhender la formation à la conduite hautement automatisée :

13. Ces deux concepts sont assez proches l'un de l'autre (parfois utilisés en synonymes) : « bien que les concepts de complaisance et de biais d'automatisation aient été discutés séparément comme s'ils étaient indépendants, ils partagent plusieurs points communs, ce qui suggère qu'ils reflètent différents aspects du même type d'utilisation abusive de l'automatisation » [65].

– Les formations relatives aux compétences procédurales (ex : contrôle du véhicule, utilisation de l'IHM), qui peuvent être considérées comme les compétences de bas niveau. Nous pouvons aussi parler de compétences techniques, correspondant aux savoirs (y compris les connaissances déclaratives) et savoir-faire technico-procéduraux nécessaires à la manipulation du véhicule et à ses dispositifs [74].

– Les compétences cognitives de haut niveau (ex : perception du danger, conscience de la situation, etc.), qui sont un ensemble des compétences perceptives, cognitives et d'auto-évaluation, ainsi que les ressources personnelles qui permettent au conducteur d'interagir de façon sûre et efficace avec l'environnement de conduite [75].

– Perception et attitudes, dans cette catégorie l'objectif est de sensibiliser les conducteurs aux facteurs impliqués dans les accidents comme la confiance/sur-confiance, l'acceptabilité, la surestimation des compétences personnelles, l'estimation des distances de sécurité, etc.

Actuellement, parmi les formations testées dans la littérature scientifique nous pouvons citer l'usage de la notice papier, la démonstration par un formateur, la vidéo, le simulateur de conduite, la réalité virtuelle et la conduite en situation réelle. Nous présentons dans la partie suivante des études récentes qui se sont intéressées à la formation des systèmes de conduite autonomes supérieurs au niveau 2. La majorité des études sont réalisées sur simulateur et quelques-unes sur route ouverte.

## 7. La formation à la conduite autonome : quels formats choisir ?

Les études qui suivent ont évalué différents formats de formation pour la prise en main des systèmes de niveau 3 ou 4 comme la vidéo ([47] ; [73] ; [80] ; [83]) ou la pratique ([47] ; [76] ; [79] ; [80] ; [81] ; [82] ; [83]). Cependant, concernant la pratique de grandes disparités existent entre les études. Par exemple, Ebnali, Lamb, Fathi et Hulme [47] utilisent un simulateur VR avec pédalier et volant, Hergeth, Lorenz et Krems [76] utilisent un simulateur haute-fidélité et Sportillo, Paljic et Ojeda [79] les deux systèmes. Chez Sahai, Barré & Bueno [83] la pratique est réalisée sur route ouverte. Nous avons dans un tableau, consultable en Annexe, intégré les conditions expérimentales de chaque étude correspondant au format du module de formation, ainsi que le type de contenu présent dans ces modules (présentation du fonctionnement général du système, phase d'apprentissage d'activation/désactivation, demande de reprise en main (REM), limites du système et intégration de connaissance sur l'humain). Le format, le contenu et la durée de la formation rendent la comparaison des études entre elles peu pertinente. De plus, les mesures ne sont pas toujours les mêmes (questionnaire de confiance, temps de réaction, etc.), pour évaluer des phases de conduite également différentes (sur autoroute, avec ou sans activité secondaire, etc.).

Nous tentons cependant de synthétiser ces études et de mettre en lumière les conclusions des auteurs afin de proposer des pistes de solutions pour optimiser la phase de formation des conducteurs dans l'usage de ces nouveaux systèmes.

### 7.1. Présenter les limites du système aux conducteurs

Dans l'étude de Ebnali, Hulme, Ebnali-Heidari et Mazloumi [73], les auteurs ont évalué les effets de la formation (simulateur et vidéo) sur les compétences procédurales, les compétences cognitives de haut niveau, la confiance et l'acceptabilité relatives à la conduite de véhicules de niveau 3. Il y avait trois groupes expérimentaux, avec 18 participants dans chaque groupe : un groupe Formation simulateur, un groupe Formation vidéo (vue à la première personne) et un groupe Contrôle. Les deux formations se déroulaient sur PC et ont été répétées trois fois. Elles devaient permettre aux participants d'améliorer leurs reprises en main (ex : qualité, précision, etc.). La formation sur simulateur durait 150 minutes et comprenait des feedbacks de compétences. La formation vidéo ne durait que 45 minutes et ne comprenait pas de feedbacks. Selon eux, la formation vidéo pourrait aider les conducteurs à développer leur compréhension des situations à risque et améliorer leurs performances de conduite. Elle est de plus facile à mettre en œuvre et à moindre coût. L'entraînement interactif en simulateur quant à lui devrait améliorer le contrôle manuel et les compétences cognitives d'ordre supérieur. Les résultats de cette étude ont montré que les deux méthodes d'entraînement ont amélioré le temps de reprise en main, la variance de la vitesse et l'écart à la ligne (mesure de qualité de reprise en main). Les participants des groupes ayant reçu une formation ont également été meilleurs pour analyser les situations où la reprise en main était nécessaire ou non. La confiance envers le véhicule autonome s'est recentrée sur une confiance modérée après les sessions de formation : de nombreux participants des groupes Formation avaient une confiance élevée avant l'entraînement, puis plus modérée par la suite. Ce n'était pas le cas pour les participants du groupe Contrôle. Ce dernier résultat est intéressant s'il est observé au regard de la littérature sur la sur-confiance. En effet, « les conducteurs qui ont signalé une confiance excessive envers les technologies d'assistance avaient tendance à surestimer les capacités de ces technologies, ce qui pourrait entraîner des risques pour la sécurité » [73]. Montrer les limites et le fonctionnement du système permettrait donc aux conducteurs d'être plus prudents lors de son utilisation. La formation, en particulier interactive (ici sur simulateur), a aidé les participants à développer un modèle mental plus précis du fonctionnement du système du véhicule autonome, avec une confiance « mieux calibrée ». Cependant, les programmes de formation n'ont pas entraîné de changements significatifs dans le nombre d'accidents, la vitesse ou l'acceptabilité de l'automatisation.

Dans une autre étude en simulateur de conduite [76], 110 participants ont été divisés en 4 groupes expérimentaux : groupe « Sans phase de formation » avec le système (hormis un descriptif de fonctionnement), groupe de « Description » du système (comprenant en plus les limites du système), groupe avec phase d'« Utilisation » du système (comprenant une demande de reprise en main durant la formation) et groupe « Description + Utilisation » du système. Les auteurs ont comparé notamment les performances de reprise de contrôle (qualité de reprise<sup>14</sup> et temps de réaction), dans deux situations/essais de conduite (identiques), ainsi que le sentiment de confiance envers le système. La situation de conduite était celle d'un niveau 3 sur autoroute avec une NDRT/Non Driving Related Task (tâche autre que la conduite, ici une recherche de cible sur un écran), et un accident sur la route nécessitant la reprise en main. Les résultats montrent des différences significatives importantes entre les groupes lors du premier essai de conduite, mais très peu lors du second essai. En effet, les groupes « Description » et « Description + Utilisation » sont plus rapides à reprendre la main lors de l'essai numéro 1 que les groupes « Sans phase de familiarisation » et « Utilisation ». Ces différences disparaissent lors du second essai. Concernant la qualité de reprise en main (time to collision et accélération), des différences significatives apparaissent entre l'essai 1 et 2, mais pas entre les groupes malgré les différences de moyennes observées. Concernant la confiance, les participants ont une confiance plus élevée envers le système après l'expérimentation et le groupe « Sans familiarisation » avait le plus haut niveau de confiance. Avant l'usage effectif du système autonome, intégrer une phase de familiarisation préalable permet d'optimiser les performances des conducteurs lors de la première situation de reprise en main. Dans l'étude ces effets tendent à disparaître lors du second essai. Ces observations sont cohérentes avec l'étude précédente de Forster *et al.* [49], qui montre des effets positifs d'une pratique répétée sur la performance. Dans leur discussion, Hergeth, Lorenz et Krems, [76], citent l'étude de Wickens et Xu [77] : « si les utilisateurs sont informés des limites du système, ils peuvent mieux se préparer aux actions incorrectes du système autonome ». Se familiariser aux demandes de reprises en main (ici dans le cadre d'un accident sur la voie), conduit à de meilleures performances, mais également à une évaluation moins critique de la situation, ainsi qu'une augmentation du sentiment de confiance envers le système : « les participants ont probablement construit la confiance en observant et en interagissant avec le système pendant la session d'expérimentation, apprenant ainsi à connaître ses capacités et ses limites ». Cependant parmi les limites de l'étude, les deux essais étaient totalement identiques, et le scénario choisi

(accident sur la voie), n'est pas considéré par les auteurs comme une situation complexe à gérer.

## 7.2. De l'apprentissage interactif à l'apprentissage immersif

Dans l'étude de Forster, Hergeth, Naujoks, Krems et Keinath [49], 24 participants ont été divisés en trois groupes expérimentaux correspondant au type de formation : le groupe Contrôle (ayant eu au préalable seulement une description orale globale du système), le groupe Manuel (4 pages, ressemblant aux manuels BMW de base, mais se concentrant exclusivement sur le fonctionnement du système autonome) et le groupe Didacticiel interactif (présentation du système + QCM sur écran tactile). Le temps maximal de la partie formation était de 10 minutes.

Après une phase de familiarisation, les participants étaient invités à réaliser deux sessions de conduite sur simulateur, comprenant des phases de transitions entre conduite manuelle, niveau 2 et niveau 3. Les résultats ont montré que le groupe Manuel et le groupe Didacticiel interactif ont conduit à des modèles mentaux plus précis et à de meilleures performances d'interaction par rapport au groupe Contrôle<sup>15</sup>. Les formations interactives directement dans le véhicule (ex : à travers un écran tactile), pourraient se révéler une piste économique et intéressante pour les constructeurs. Cela permettrait de faciliter la compréhension par les conducteurs des IHM des véhicules automatisés, mais aussi d'améliorer leurs prises en main lors des premières interactions avec le véhicule. Cependant, les auteurs attirent l'attention sur l'importance d'une démarche centrée utilisateur pour la formation mais aussi et surtout pour la conception IHM.

Dans une autre étude sortie la même année, Boelhouwer, van den Beukel, van der Voort et Martens [78], ont évalué si la présentation d'informations sur les systèmes autonomes aux conducteurs par le biais d'un manuel peut créer un modèle mental en conformité avec les capacités réelles de la voiture. Les auteurs ont présenté à 28 conducteurs des vidéos de conduite autonome (CA) en environnement urbain. Les participants devaient indiquer, via un bouton, lorsqu'ils pensaient que le système ne pouvait plus faire face à la situation et qu'ils devaient reprendre le contrôle. Les participants étaient divisés en deux groupes, les uns ayant reçu des informations sur le fonctionnement et les limites du système, les autres rien du tout. Les résultats montrent que les informations du système ne semblaient pas aider les participants à prendre les bonnes décisions. Pour les auteurs, les manuels intégrant ce genre d'informations peuvent ne pas être suffisants. Cependant, ils ont également présenté

14. La qualité de reprise en main était mesurée à travers le temps minimum avant collision (Time to collision/TTC) et l'accélération maximale résultante.

15. L'étude ne révèle pas de différence marquée en faveur d'un des deux groupes de formation. Cependant la supériorité, entre l'une ou l'autre de ces conditions, était fortement dépendante des cas d'usage en ce qui concerne l'évaluation experte. Par exemple, le Manuel a fourni un meilleur soutien lors de la transition manuelle vers le niveau 3, alors que le Didacticiel interactif a donné de meilleurs résultats lors de la transition du niveau 2 vers le niveau 3. N.B. l'étude présentant un petit effectif (n = 24), les résultats de cette étude peuvent être discutés.

des limites à leur étude, en montrant que les informations présentées dans le manuel pouvaient être complexes à comprendre et ne pas présenter l'ensemble des situations de conduite : « par exemple, comme indiqué dans les résultats qualitatifs, certains participants ont été surpris que la voiture freine pour un feu de circulation. Cela peut être dû au fait que le manuel d'instructions indique que la voiture peut détecter les feux de signalisation, mais n'indique pas explicitement qu'elle freine en conséquence. Cela peut avoir conduit les participants à reprendre le contrôle plus souvent que nécessaire » [78]. De plus, la simulation repose sur le visionnage de vidéo, et le sentiment d'urgence n'est pas le même que dans une situation de conduite simulée ou réelle. Le protocole de cette expérimentation pourrait servir de modèle pour la construction d'une formation interactive dans laquelle les apprenants pourraient visualiser le fonctionnement et les limites du système autonome.

Ebnali, Lamb, Fathi et Hulme [47], ont choisi dans une autre étude de se tourner vers un apprentissage interactif (versus apprentissage avec notice), en proposant des formations en Réalité Virtuelle (RV) pour la prise en main de véhicules autonomes de niveau 3. 84 participants ont été divisés en quatre groupes : formation vidéo (sur écran), formation RV basse-fidélité (Oculus Go + manette de jeu), formation RV haute-fidélité (Oculus Go + volant et pédale de simulateur, et groupe sans formation (contrôle). Le contenu des formations était le même entre les groupes vidéo et RV (connaissance sur l'automatisation, sur l'humain et sur la tâche). Les deux groupes RV pouvaient cependant conduire lors de la dernière phase de la formation, alors que le groupe vidéo ne le pouvait pas (remplacé par des séquences de mises en pratique filmées). Après cette phase de formation, les participants de tous les groupes ont ensuite été exposés à trois sessions de test sur simulateur comprenant des reprises en main urgentes et non-urgent. Chaque session se déroulait dans un environnement routier avec conduite en ville, présence de piétons, section d'autoroute, etc. Au niveau des résultats, la phase de formation aurait des effets positifs sur la confiance et sur les performances de conduite. Ces effets sont plus importants chez les participants ayant suivi les formations en RV, et particulièrement celles en haute-fidélité : une plus grande confiance, des temps de réaction plus rapides et une meilleure qualité de reprise en main (écart à la ligne). Cependant, ces effets tendent à disparaître au fil des sessions. Enfin, notons également que les participants du groupe vidéo sont plus rapides que le groupe contrôle, ce qui pourrait suggérer que « ce type de formation aide à construire des modèles mentaux plus précis du fonctionnement de l'automatisation et, par conséquent, à réagir plus rapidement » [47]. Cet effet est déjà observé par les auteurs dans la précédente étude présentée ci-dessus [73]. Les auteurs semblent

cependant s'accorder sur la prédominance des formations interactives.

Sportillo, Paljic et Ojeda [79], ont quant à eux comparé une formation de type Réalité Virtuelle (RV) versus, manuel simple et simulateur. Leur étude était divisée en deux phases, une phase d'entraînement et une phase de conduite de niveau 3. 60 participants ont été assignés à une des conditions suivantes : entraînement en réalité virtuelle (*HTC vive* associé à des pédales et un volant), entraînement en simulateur, entraînement à travers un manuel présenté sur un ordinateur (8 slides d'explication avec texte et image, dont une slide animée présentant « comment activer le système »). Dans la phase d'entraînement, chaque groupe pouvait voir une vidéo présentant le fonctionnement d'un véhicule autonome de niveau 3. Cependant seuls les groupes RV et simulateur réalisent une session de CA durant la phase d'entraînement. Par la suite tous les participants ont réalisé une session de conduite de 20 minutes dans laquelle trois demandes de reprise en main étaient demandées : obstacle, absence de marquage au sol (non-urgent/10 sec) et *system failure* (urgente/5 sec). Concernant les temps de réaction, les participants des formations RV et simulateur, ont été plus rapides dans les deux premières demandes de reprise en main. Cependant lors de la troisième demande (urgente), les scores sont équivalents. Pour l'écart à la ligne, les résultats ne sont pas significativement différents, bien que l'écart-type soit plus faible pour la formation RV. Les résultats ne sont également pas différents pour la mesure *Time to collision*, ni pour le nombre de regards. Une des limites de l'étude est que l'entraînement à partir du manuel ne concernait que les connaissances déclaratives, alors que les formations en RV et sur simulateur comprenaient une phase de conduite. Ces participants avaient donc pu profiter de l'acquisition de connaissances déclaratives sur le fonctionnement du système et d'un pré-entraînement pour améliorer leurs compétences procédurales. Les différences sur les temps de réaction dans les deux premiers essais s'effacent lors du troisième. Cependant, les résultats de cette étude montrent qu'un système de RV pourrait se révéler être un outil de formation intéressant, notamment car celui-ci a été bien accueilli par les participants. Finalement le temps de réaction, et dans une moindre mesure l'écart à la ligne, prouvent qu'une formation basée sur l'entraînement de connaissances déclaratives et des compétences procédurales a un impact sur la phase de conduite et les premières interactions avec le système notamment lors des demandes de reprise en main.

Dans une seconde étude, Sportillo, Paljic et Ojeda [80] ont testé l'efficacité d'un tutoriel vidéo comparé à une formation en Réalité Augmentée et en Réalité Virtuelle sur route ouverte avec un véhicule de type magicien d'Oz (WOz pour Wizard of Oz), simulant un véhicule

autonome de niveau 3. Dans cette étude 60 participants ont été répartis en trois groupes expérimentaux : formation via un tutoriel vidéo<sup>16</sup> (à bord du véhicule, équivalent à un groupe contrôle), formation en Réalité Augmentée/RA (vidéo + session de formation en RA, c'est-à-dire dans un vrai véhicule mais avec une paire de lunettes de réalité mixte qui permettait de visualiser un écran interactif pour tester le scénario de conduite via les commandes réelles de la voiture et de l'ajout en RA d'un bouton d'activation/désactivation de la CA) et formation en Réalité Virtuelle/RV (vidéo + session de conduite sur un simulateur hors du véhicule). La formation comprenait une vidéo commune aux trois conditions présentant les principales caractéristiques de la conduite autonome de niveau 3 et les différents états de la voiture (dont icônes et les alertes visuelles et auditives représentatives de chaque état). Les groupes RA et RV comprenaient des scénarios de conduite simulés dans lesquels le participant pouvait activer et désactiver le système de CA et faire l'expérience de deux demandes de reprise en main (travaux sur la route et sortie d'autoroute). Les groupes AR et RV étaient favorisés du fait d'une pratique absente du groupe vidéo seule. Pour évaluer l'impact de la formation sur la conduite, les mesures comprenaient notamment un test de connaissance (portant sur la compréhension des scénarios de conduite autonome, de l'interface de la voiture et de la procédure d'activation et de désactivation du système) et les temps de réaction. Concernant les résultats du questionnaire de connaissance et compréhension (évalués /13), une différence significative a été observée entre les scores du groupe RA et Vidéo (Vidéo = 8, RA = 10, RV = 9) : « cette différence est principalement due aux questions concernant la compréhension des scénarios de conduite (Vidéo = 6, RA = 12, RV = 10) et procédure de reprise en main (Vidéo = 7 ; RA = 17 ; RV = 14) » [80], avec un net désavantage pour le groupe vidéo certainement due à l'absence de pratique. Pour les temps de réaction, la formation en RV a produit les temps de réaction les plus bas, mais cette différence est significative seulement pour la reprise en main urgente (Vidéo = 3.07 sec ; RA = 3.12 sec ; RV = 2.08 sec). Pour les auteurs « la familiarisation préalable des conducteurs avec le véhicule est cruciale pour la bonne compréhension et l'utilisation du système automatisé et pour la sécurité routière ». Les formations simples et non interactives (tutoriel vidéo) permettent de localiser les principaux organes de l'interface et de se familiariser avec les alertes. Cependant, les formations type RV et RA permettent une meilleure compréhension du système, avec de meilleures performances en termes de temps de réaction. Enfin les auteurs suggèrent que des programmes de formation personnalisés devraient être envisagés en fonction de l'âge des conducteurs.

### 7.3. La formation par la pratique

Payre, Cestac, & Delhomme [81], ont comparé la pratique simple et la pratique élaborée comme format de formation. Dans cette étude portant sur un système autonome de niveau 4, les participants (n = 69) étaient placés dans un simulateur pour expérimenter l'une ou l'autre des conditions suivantes : Pratique simple (consistant à démarrer manuellement le moteur pour atteindre 130 km/h, lancer la CA, puis l'éteindre après 1 minute et reprendre le contrôle manuel pour arrêter la voiture) ou Pratique élaborée (les conducteurs devaient lancer la CA sur une autoroute avec d'autres automobilistes présents, une demande de reprise en main urgente se déclenchait, les conducteurs avaient 3 secondes pour reprendre la main, ils remettaient ensuite le système autonome en marche, puis reprenaient la main pour finalement stopper le véhicule). Ces deux phases de familiarisation duraient 3 minutes. Par la suite, tous les participants ont réalisé une session de conduite d'une durée de 18 minutes comprenant notamment trois demandes de reprise en main, une urgente et deux non-urgentes. Concernant la variable du temps de réaction, les participants ont été plus rapides la seconde fois par rapport à la première demande de reprise en main : « cette amélioration du temps de réaction pourrait être due au fait que les participants ont mieux compris le système automatisé, les amenant à reprendre le contrôle avant que les messages ne soient entièrement affichés » [81]. Il n'y a cependant pas d'effet du groupe sur le temps de réaction. Néanmoins, les auteurs ont identifié une corrélation entre le score de confiance et le temps de réaction pour le groupe pratique simple. Un niveau élevé de confiance était positivement corrélé avec un temps de réaction long. Ce phénomène pourrait correspondre au biais de complaisance : plus grande est la confiance, moins le système est surveillé et plus la déconnexion de la situation de conduite est grande. Pour les auteurs, un permis de conduire spécifique à la conduite autonome pourrait être une solution pour former les conducteurs aux demandes de reprises en main dans les situations les plus critiques. L'usage du système et l'expérience qui en découle impactent la performance, « l'incorporation d'un tutoriel avec un retour d'information spécifique sur la façon de faire face aux situations critiques pourrait améliorer la qualité de l'interaction homme-machine » [81].

Dans une autre étude, Payre, Cestac, Dang, Vienne, & Delhomme [82], ont comparé de nouveau deux types de formation pratique, simple versus élaborée (avec ou sans NDRT). Ils ont essayé ici de répondre à la question de recherche suivante : dans quelle mesure le manque de formation et les NDRT peuvent altérer la demande de reprise en main du véhicule autonome de niveau 4 ? Pour cela 113 participants ont été divisés en quatre groupes expérimentaux : pratique simple/NDRT, pratique simple/

16. Représente le groupe contrôle de l'étude, cette vidéo est aussi visualisée par les deux autres groupes.

sans NDRT, pratique élaborée/NDRT, pratique élaborée/sans NDRT. Les participants des conditions « pratique élaborée » ont lu un texte sur le fonctionnement du système et des questions leur ont été posées par l'expérimentateur. Puis ils ont visionné une vidéo dans laquelle un conducteur effectuait une reprise en main (cadrage à la première et à la troisième personne<sup>17</sup>). Les participants des conditions « pratique simple » n'ont pas eu de lecture ni de vidéo (mais tous les participants ont eu une phase de familiarisation avec le système et d'explication de son fonctionnement global avant la conduite). Dans la session de conduite sur simulateur, tous les participants ont dû gérer deux défaillances système les obligeant à reprendre le contrôle manuel de manière inattendue. Les participants des conditions NDRT avaient à réaliser deux tâches, un labyrinthe et une anagramme (contrebalancés). Concernant les résultats, la formation a amélioré le temps de réponse et réduit le nombre d'interactions avec les pédales pour la seconde demande de reprise en main. Les temps de réponse étaient également plus longs chez les participants des groupes NDRT, mais il n'y a pas eu d'effet sur le nombre d'interactions avec les pédales. Concernant la méthode utilisée pour reprendre le contrôle, les participants qui ont utilisé leurs mains et leurs pieds simultanément étaient plus rapides que les autres, mais il n'y a pas eu d'effet de la formation. La formation a eu un effet sur le nombre de regards sur la route (groupe NDRT seulement). Pendant le premier NDRT, les participants ayant suivi la formation pratique élaborée ont regardé la route deux fois moins souvent que les participants ayant suivi la formation simple. Pour les auteurs, « cela peut être interprété comme une indication d'une plus grande confiance dans le système » [82]. Ce résultat est cohérent avec l'évaluation de la confiance par questionnaire : les participants des conditions de formation pratique élaborée faisaient davantage confiance au système que ceux de la condition d'apprentissage simple. Les résultats obtenus dans cette étude montrent les avantages d'une politique de formation. Bien que le temps consacré à la formation des conducteurs soit court, les auteurs soulignent que la durée n'est pas nécessairement une garantie d'une formation efficace : « la durée n'est pas la seule considération - la méthodologie de formation et les dispositifs de formation utilisés sont également très importants » (rapport FAA<sup>18</sup>, cité par [82]). Une des pistes proposées par les auteurs serait de limiter les capacités du système autonome en fonction de l'expérience et de débloquer ces capacités au fur et à mesure de son utilisation, et donc de l'expérience du conducteur vis-à-vis du système. L'idée serait aussi d'intégrer une limite maximale d'utilisation, afin de garantir un usage manuel effectif à l'instar des pilotes d'avion qui doivent garder leurs compétences à jour et ne pas toujours compter sur les systèmes automatisés.

Sahaï, Barré & Bueno [83] ont comparé trois types de formation (notice, vidéo, pratique), dans une

expérimentation avec un véhicule WOz pour simuler un niveau 3 sur route ouverte. 57 participants ont été divisés en trois groupes : un groupe formation avec une Notice (une page A4 présentant le fonctionnement du système), un groupe formation Vidéo (vidéo de 3 minutes présentant l'intérieur d'un véhicule et un conducteur utilisant le système, vue à la 3<sup>e</sup> personne) et un groupe Pratique (consistant en la réalisation d'un trajet de moins de 2km par les participants sur route réelle avec le véhicule WOz). Pour chacun des groupes, l'IHM était présentée avec les deux types de reprises en main pouvant être rencontrées : urgentes (8 sec pour reprendre la main) et non-urgente (45 sec pour reprendre la main). La session de conduite durait 35 minutes environ (16 km), sur un trajet aller/retour. Durant le trajet aller les conducteurs étaient engagés dans une NDRT (jeu *Akinator* sur tablette), et le trajet aller prenait fin avec une demande de reprise en main urgente. Durant le trajet retour, la NDRT était libre, et prenait fin avec une demande de reprise en main non-urgente. Les résultats montrent que le type de formation impacte le temps de réaction dans la situation de reprise en main urgente. Les analyses révèlent que les temps de réaction sont plus courts lorsque les participants sont formés par la Pratique par rapport à la formation Vidéo, et par rapport à la formation Notice. Cependant, aucune différence significative n'a été trouvée entre les formations Notice et Vidéo pour la reprise en main urgente. Lors de la demande de reprise en main urgente, les temps de réponse du premier regard vers la route, du premier regard vers l'IHM (ainsi que sa durée) et de la pose du pied sur les pédales n'étaient pas influencés par le type de formation suivie par les participants. Seul le temps de réponse de la pose de la main sur le volant était plus rapide lorsque les participants avaient suivi la formation Pratique que lorsqu'ils avaient suivi la formation Vidéo. Ce gain en faveur de la formation pratique sur la reconfiguration motrice suggère que les compétences acquises durant la formation se répercutent sur le processus de reprise en main urgente. Cette idée est consistante avec le temps de réaction. Les auteurs ont également réalisé des entretiens semi-directifs avec les participants notamment pour approfondir la partie formation. Les éléments de la formation appréciés par les conducteurs étaient les suivants : savoir comment activer la conduite autonome et comment reprendre en main le véhicule, connaître le temps imparti pour chaque type de reprise en main, comprendre les différentes alertes sonores ainsi que le code couleur de l'IHM, et enfin comprendre le fonctionnement général de l'IHM. A contrario selon les participants, les éléments qui manquaient à la formation étaient le manque de clarification sur la façon de reprendre la main en cas de demande (surtout pour le groupe Notice papier) et sur l'activation de la CA (sauf pour le groupe Pratique). Le manque d'illustration des situations urgentes pouvant

17. C'est-à-dire vision égocentrique et allocentrique, car la visualisation des gestes d'action implique une meilleure connaissance des actions [92] cité par [82].

18. [https://www.faa.gov/aircraft/air\\_cert/design\\_approvals/human\\_factors/media/oufpmr\\_report.pdf](https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/human_factors/media/oufpmr_report.pdf)

être rencontrées est également cité (par les trois groupes) comme un manque dans la formation.

Pour conclure cette partie, les auteurs des différentes études que nous venons de présenter s'accordent tous pour dire que la formation est une étape essentielle avant de pouvoir conduire efficacement et d'une manière sûre les véhicules autonomes de niveau 2, 3 ou 4. Les conducteurs doivent connaître les fonctionnalités et les limites des systèmes à travers un modèle mental correct de son fonctionnement. Les formations élaborées (mélangeant connaissances déclaratives et compétences procédurales) semblent permettre d'obtenir de meilleurs résultats. Certains auteurs conseillent également de réaliser des formations interactives ou immersives, afin de montrer aux conducteurs le fonctionnement du système dans diverses situations réalistes. L'aspect ludique de ces formats pourrait expliquer leur efficacité, reste à analyser si tous les utilisateurs y sont sensibles. Enfin, maintenir les connaissances et les compétences dans le temps serait un dernier élément à prendre en considération dans les programmes de formation pour la prise en mains des systèmes à délégation de conduite.

## 8. Discussion et conclusion

Concernant la conduite manuelle, les éléments présentés dans ce document laissent supposer qu'une formation pratique minimale associée à un permis gradué permettrait d'optimiser l'apprentissage de la conduite. Bien que les systèmes ADAS et supérieurs ne soient pas aussi complexes dans leurs usages que l'apprentissage de la conduite, la maîtrise de certains systèmes est loin d'être atteinte par les conducteurs. Les mésusages volontaires ou involontaires des systèmes sont légion. Et les raisons sont diverses : non lecture des notices ou non visionnage des vidéos de tutoriels, mauvaise compréhension du fonctionnement des systèmes, surestimation des capacités du système (par le conducteur comme le constructeur), etc. Sans information préalable sur les capacités et limites du système (et a fortiori du conducteur), le risque d'accident est accru. L'apparition sur le marché de véhicules de niveau 2 et dans un futur proche de véhicules avec des fonctions de CA de niveaux 3 et 4, rend cette phase de familiarisation avec ces systèmes encore plus utile. En effet, comme les véhicules autonomes de niveau 3 et 4, nécessiteront toujours une intervention humaine, ils peuvent entraîner l'apparition de nouveaux problèmes liés aux facteurs humains [84] comme l'augmentation de la charge mentale, la perte de conscience de la situation, de mauvaises manipulations, etc. Les demandes de reprise en main urgentes peuvent induire une charge mentale élevée si le conducteur doit se désengager d'une tâche autre que la conduite (NDRT), puis évaluer la situation actuelle et agir en quelques secondes [85, 78]. Réaliser une action de reprise en main trop rapide ou dans la précipitation pourrait aussi conduire à un mauvais et dangereux passage en conduite

manuelle [86]. De plus, à l'instar des connaissances dans l'aviation, les conducteurs pourraient devenir à terme trop dépendants des systèmes autonomes et ne pas être capables de reprendre la main efficacement lorsque cela est nécessaire (concept d'érosion des compétences ; [32]), à terme un usage excessif de ces systèmes pourrait impacter la conduite manuelle. Il pourrait alors être intéressant de réfléchir à des formations prenant en compte cet effet s'il est avéré. La question de la formation pour l'usage des systèmes autonomes est d'autant plus d'actualité, car pour lutter contre l'insécurité sur les routes, le CNSR souhaite impliquer les constructeurs dans l'information et la formation à la bonne utilisation des aides à la conduite. De plus, l'article 12 du projet de Loi d'Orientation des Mobilités (LOM) précise qu'« il pourra être prévu à ce titre d'imposer la fourniture d'une information ou d'une formation appropriée, préalablement à la mise à disposition des véhicules à délégation de conduite, lors de la vente ou de la location de tels véhicules... Le conducteur doit avoir reçu une formation préalable adéquate aux fonctions de délégation de conduite mises en œuvre pendant l'expérimentation ». Si derrière le concept d'information, les notices et vidéos fournies par les constructeurs font d'ores et déjà partie des documents obligatoires afin de faciliter la prise en main des véhicules, le concept de formation reste complexe à définir. Est-il par exemple nécessaire de modifier l'actuel permis de conduire afin de proposer une partie dédiée aux systèmes autonomes (ADAS ou supérieurs) ? La multiplication des systèmes autonomes et la singularité de chaque système lié aux différents constructeurs de véhicules risquent de complexifier la tâche. La formation sur simulateur directement dans les auto-écoles permettrait-elle de proposer une phase de familiarisation avec les systèmes autonomes ? Cela nécessiterait cependant que les centres de formation investissent dans du matériel et intègrent les différentes IHM existants. Tout au long de ce document, nous avons pu voir que les auto-formations (ex : notice papier, tutoriels vidéo, etc.) des conducteurs sans vérification de lecture, de connaissance ou de compréhension se révèlent insuffisantes pour appréhender les systèmes autonomes. Les formations de type notices interactives avec vérification des connaissances avant de pouvoir utiliser un système pourraient être une alternative aux notices papier ou informatiques actuelles. Mais comment intégrer les différences interindividuelles dans ce genre de formation, et quelle durée devrait avoir ces formations, pour s'assurer par exemple de la rétention de ces connaissances nouvellement acquises ? Débloquer les capacités des systèmes au fur et à mesure de leur utilisation effective serait également une autre piste de solution, afin d'accompagner les conducteurs dans la phase d'apprentissage du système. Comme nous l'avons vu, les modules immersifs de type réalité virtuelle ou augmentée sont des formats actuellement explorés par certains chercheurs et semblent obtenir des résultats intéressants en termes d'apprentissage. Cependant, comment mettre en place de telles formations et où ? Chez

les concessionnaires ? Mais les vendeurs automobiles ne sont pas des formateurs [87]. Dans les auto-écoles ? Là encore l'achat du matériel et son utilisation risquent d'être compliqués à mettre en place. Enfin, travailler sur le contenu de ces formations est fondamental et doit être exploré d'une manière plus approfondie. Par exemple, l'intégration des limites du système (ex : « ce système ne doit pas être utilisé dans la situation suivante, car... », etc.) et des connaissances sur l'humain (ex : rapport aux limites attentionnelles, au phénomène de complaisance, etc.) au sein des formations serait pour de nombreux auteurs cités dans ce document essentiel pour s'assurer d'une utilisation raisonnée et efficace du véhicule autonome, en évitant par exemple de créer un sentiment de sur-confiance chez les conducteurs.

## Références

- SAE (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers International
- Fagnant DJ, Kockelman K (2015) Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167-181
- Kyriakidis M, de Winter JC, Stanton N, Bellet T, van Arem B, Brookhuis K, Happee R (2019) A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(3), 223-249
- Reason J (1993) *L'erreur humaine*. Paris : PUF.
- Van Elslande P (2000) L'erreur humaine dans les scénarios d'accident cause ou conséquence?. *Recherche-Transports-Sécurité*, 66, 7-31.
- NTSB (2016) The Automatic Emergency Braking (AEB) or Autopilot systems may not function as designed, increasing the risk of a crash. *Failure Report PE 16-007*
- Assailly J-P (2013) Quelles innovations pédagogiques dans le cadre de la réforme du permis de conduire ? *Questions Vives Recherches En Éducation*, 7(Vol.9 n°19), 37-49
- Boets S, Meunier JC, Kluppels L (2016) Implementing graduated driving license in Europe: literature review on practices and effects, and recommendation of an ideal model. *Rech. Transp. Secur.*, 2016(1-2), 81-96
- Elvik R (2006) Laws of accident causation. *Accident Analysis & Prevention*, 38(4), 742-747.
- Beanland V, Goode N, Salmon PM, Lenné MG (2013) Is there a case for driver training? A review of the efficacy of pre-and post-licence driver training. *Safety Science*, 51(1), 127-137
- Carstensen G (2002) The effect on accident risk of a change in driver education in Denmark. *Accident Analysis & Prevention*, 34(1), 111-121.
- Nyberg A, Gregersen NP, Wiklund M (2007) Practicing in relation to the outcome of the driving test. *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 159-168
- Page Y, Ouimet MC, Cuny S (2004) An evaluation of the effectiveness of the supervised driver-training system in France. In *Annual proceedings/association for the advancement of automotive medicine* (Vol. 48, p. 131) Association for the Advancement of Automotive Medicine.
- Isler RB, Starkey NJ, Sheppard P (2011) Effects of higher-order driving skill training on young, inexperienced drivers' on-road driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1818-1827
- Wilson RJ, Meckle W, Wiggins S, Cooper PJ (2006) Young driver risk in relation to parents' retrospective driving record. *Journal of Safety Research*, 37(4), 325-332
- Taubman-Ben-Ari O, Lotan T, Prato CG (2017) Young male drivers' risky driving 15 months after licensure – The role of intervention, attitudes towards accompanied driving, and parents' risk. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 51, 73-80
- Lund AK, Williams AF, Zador P (1986) High school driver education: further evaluation of the DeKalb County study. *Accident Analysis & Prevention*, 18, 349-357
- Katila A, Keskinen E, Hatakka M (1996) Conflicting goals of skid training. *Accident Analysis & Prevention*, 28(6), 785-789
- Shell DF, Newman IM, Córdova-Cazar AL, Heese JM (2015) Driver education and teen crashes and traffic violations in the first two years of driving in a graduated licensing system. *Accident Analysis & Prevention*, 82, 45- 52
- Simons-Morton BG (2002) Reducing young driver crash risk. *Injury prevention*, 8(suppl 2), ii1-ii2
- Russell KF, Vandermeer B, Hartling L (2011) Graduated driver licensing for reducing motor vehicle crashes among young drivers. *Cochrane database of systematic reviews*, (10). pp 68
- Foss R, Goodwin A (2003) Enhancing the effectiveness of graduated driver licensing legislation. *Journal of safety research*, 34(1), 79-84
- Simons-Morton B, Ouimet MC (2006) Parent involvement in novice teen driving: a review of the literature. *Injury Prevention*, 12(suppl 1), i30-i37
- Beanland V, Goode N, Salmon PM, Lenné MG (2013) Is there a case for driver training? A review of the efficacy of pre-and post-licence driver training. *Safety Science*, 51(1), 127-137
- Boase P, Tasca L (1998) *Graduated Licensing System Evaluation: Interim Report '98*. Ministry of Transportation of Ontario, Toronto. Report no. SPB-98-101
- Mayhew DR, Simpson HM, Pak A (2003) Changes in collision rates among novice drivers during the first months of driving. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 683-691
- Lewis-Evans B (2010) Crash involvement during the different phases of the New Zealand Graduated Driver Licensing System (GDLS). *Journal of safety research*, 41(4), 359-365
- Hatakka M, Keskinen E, Gregersen NP, Glad A, Hernetkoski K (2002) From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(3), 201-215
- Assailly J-P (2007) *Éducation routière. Le point sur la matrice GDE ou l'œuf*. *Revue de la sécurité routière*, 153, 26-27
- Mas A (2012) *Utilisation des simulateurs de conduite pour l'évaluation des systèmes d'aide à la conduite en situation d'urgence*. Thèse de doctorat. ENSAM.
- Galvani M (2019) History and future of driver assistance. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 22(1), 11-16

32. Stanton NA, Marsden P (1996) From fly-by-wire to drive-by-wire: Safety implications of automation in vehicles. *Safety science*, 24(1), 35-49
33. Cicchino JB (2017) Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates. *Accident Analysis & Prevention*, 99, 142-152
34. van Wees K, Brookhuis K (2005) Product liability for ADAS; legal and human factors perspectives. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 5(4)
35. Young M (2012). Ergonomics issues with advanced driver assistance systems (ADAS). In N. Gkikas (Eds), *Automotive Ergonomics*, CRC Press, pp. 55-76
36. Cades DM, Crump C, Lester BD, Young D (2017) Driver distraction and advanced vehicle assistive systems (ADAS): investigating effects on driver behavior. In *Advances in Human Aspects of Transportation* (pp. 1015-1022). Springer, Cham
37. Vinci, MAIF, Ci2N (2018) (Ré)apprendre à conduire avec les outils de conduite semi-assistée pour accompagner la transition vers le véhicule autonome. Synthèse d'étude. URL: <https://www.fondation-maif.fr/up/pj/CP-vehiculeautonomeetcontrlehumain-FondationMaifetVinciAutoroutes.PDF>
38. Dutch Safety Board (2019) Who is in control? Road safety and automation in road traffic. Rapport de recherche. Dutch Safety Board
39. Pradhan AK, Pulver E, Zakrajsek J, Bao S, Molnar L (2018) Perceived safety benefits, concerns, and utility of advanced driver assistance systems among owners of ADAS-equipped vehicles. *Traffic injury prevention*, 19(sup2), S135-S137
40. Zahabi M, Razak AMA, Shortz AE, Mehta RK, Manser M (2020) Evaluating advanced driver-assistance system trainings using driver performance, attention allocation, and neural efficiency measures. *Applied ergonomics*, 84, 103036
41. Wintersberger P, Riener A (2016) Trust in technology as a safety aspect in highly automated driving. *i-com*, 15(3), 297-310
42. Beggiato M, Krems JF (2013) The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 18, 47-57
43. Beggiato M, Pereira M, Petzoldt T, Krems J (2015) Learning and development of trust, acceptance and the mental model of ACC. A longitudinal on-road study. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 35, 75-84
44. Winkler S, Kazazi J, Vollrath M (2018) Practice makes better—Learning effects of driving with a multi-stage collision warning. *Accident Analysis & Prevention*, 117, 398-409
45. Viktorová L, Šucha M (2019) Learning about advanced driver assistance systems—The case of ACC and FCW in a sample of Czech drivers. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 65, 576-583
46. Cahour B, Forzy J-F (2009) Does projection into use improve trust and exploration? An example with a cruise control system. *Safety science*, 47(9), 1260-1270
47. Ebnali M, Lamb R, Fathi R, Hulme K (2021) Virtual reality tour for first-time users of highly automated cars: Comparing the effects of virtual environments with different levels of interaction fidelity. *Applied Ergonomics*, 90, 103226.
48. Endsley MR (2017) From here to autonomy: lessons learned from human–automation research. *Human factors*, 59(1), 5-27
49. Forster Y, Hergeth S, Naujoks F, Krems J, Keinath A (2019) User Education in Automated Driving: Owner's Manual and Interactive Tutorial Support Mental Model Formation and Human-Automation Interaction. *Information*, 10(4), 143
50. Zahabi M, Razak AMA, Shortz AE, Mehta RK, Manser M (2020) Evaluating advanced driver-assistance system trainings using driver performance, attention allocation, and neural efficiency measures. *Applied ergonomics*, 84, 103036
51. Banks VA, Eriksson A, O'Donoghue J, Stanton NA (2018) Is partially automated driving a bad idea? Observations from an on-road study. *Applied Ergonomics*, 68, 138-145
52. Wilson KM, Yang S, Roady T, Kuo J, Lenné MG (2020) Driver trust & mode confusion in an on-road study of level-2 automated vehicle technology. *Safety Science*, 130, 104845
53. Barré J, Bréard H (2019) Evaluation de la conduite partiellement autonome des véhicules Tesla. Rapport interne Vedecom
54. NTSB (2019) Rear-End Collision Between a Car Operating with Advanced Driver Assistance Systems and a Stationary Fire Truck, Culver City, California, January 22, 2018. Highway Accident Brief NTSB/HAB-19/07
55. Hesse T, Engström J, Johansson E, Valalda G, Brockmann M, Rambaldini A, Kanstrup L (2011) Towards user-centred development of integrated information, warning, and intervention strategies for multiple ADAS in the EU project interactive. In *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction* (pp. 280-289). Springer, Berlin, Heidelberg
56. Greenlee ET, DeLucia PR, Newton DC (2018) Driver vigilance in automated vehicles: Hazard detection failures are a matter of time. *Human factors*, 60(4), 465-476
57. Strand N, Nilsson J, Karlsson IM, Nilsson L (2014) Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 218-228
58. Scerbo MW, Mouloua ME (1998) Automation technology and human performance: Current research and trends. In *Conference on Automation Technology and Human Performance*, 3rd, Mar, 1998, Norfolk, VA, US. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
59. Bainbridge L (1983) Ironies of automation. In *Analysis, design and evaluation of man-machine systems* (pp. 129-135). Pergamon
60. Parasuraman R, Riley V (1997) Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human factors*, 39(2), 230-253
61. Bahner JE, Hüper AD, Manzey D (2008) Misuse of automated decision aids: Complacency, automation bias and the impact of training experience. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 688-699
62. Wiener EL (1981) Complacency: Is the term useful for air safety? In *Proceedings of the 26th Corporate Aviation Safety Seminar* p 116-125. Denver: Flight Safety Foundation.
63. Billings CE, Lauber JK, Funkhouser H, Lyman EG, Huff EM (1976) NASA aviation safety reporting system. Rapport NASA TM X-3445

64. Parasuraman R, Molloy R, Singh IL (1993) Performance consequences of automation-induced 'complacency'. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(1), 1-23
65. Parasuraman R, Manzey DH (2010) Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human factors*, 52(3), 381-410
66. Hurst K, Hurst L (1982) *Pilot error: The human factors*. New York, NY: Aronson
67. Funk K, Lyall B, Wilson J, Vint R, Niemczyk M, Suroteguh C, Owen G (1999) Flight deck automation issues. *International Journal of Aviation Psychology*, 9, 109-123
68. NTSB (2019) Collision Between Vehicle Controlled by Developmental Automated Driving System and Pedestrian Tempe, Arizona. March 18, 2018. Accident Report NTSB/HAR-19/03PB2019-101402
69. Cummings M (2004) Automation bias in intelligent time critical decision support systems. In *AIAA 1st Intelligent Systems Technical Conference*
70. Fiske ST, Taylor SE (1991) *Social cognition*. McGraw-Hill Book Company
71. Skitka LJ, Mosier KL, Burdick M, Rosenblatt B (2000) Automation bias and errors: are crews better than individuals?. *The International journal of aviation psychology*, 10(1), 85-97
72. Casner SM, Hutchins EL (2019) What do we tell the drivers? Toward minimum driver training standards for partially automated cars. *Journal of cognitive engineering and decision making*, 13(2), 55-66
73. Ebnali M, Hulme K, Ebnali-Heidari A, Mazloumi A (2019) How does training effect users' attitudes and skills needed for highly automated driving?. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 66, 184-195
74. Corneloup V (2019) *Apprentissage et évaluation des compétences de conduite de haut niveau en réalité virtuelle : utilisation des simulateurs de conduite pour mesurer et développer les compétences perceptives et cognitives des conducteurs novices*. Thèse de doctorat. Paris Descartes
75. Deery HA (1999) Hazard and Risk Perception among Young Novice Drivers. *Journal of Safety Research*, 30(4), 225-236
76. Hergeth S, Lorenz L, Krems JF (2017) Prior familiarization with takeover requests affects drivers' takeover performance and automation trust. *Human factors*, 59(3), 457-470
77. Wickens CD, Xu X (2002) Automation trust, reliability and attention (Tech. Rep. No. AHFD-02-14/MAAD-02-2). Savoy, IL: Aviation Human Factors Division, Institute of Aviation
78. Boelhouwer A, van den Beukel AP, van der Voort MC, Martens MH (2019) Should I take over? Does system knowledge help drivers in making take-over decisions while driving a partially automated car?. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 60, 669-684
79. Sportillo D, Paljic A, Ojeda L (2018) Get ready for automated driving using virtual reality. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 102-113
80. Sportillo D, Paljic A, Ojeda L (2019) On-road evaluation of autonomous driving training. In *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 182-190). IEEE
81. Payre W, Cestac J, Delhomme P (2016) Fully automated driving: Impact of trust and practice on manual control recovery. *Human factors*, 58(2), 229-241
82. Payre W, Cestac J, Dang NT, Vienne F, Delhomme P (2017) Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 46, 216-227
83. Sahaï A, Barré J, Bueno M (2021) Urgent and non-urgent takeovers during conditional automated driving on public roads: The impact of different training programmes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 81, 130-143
84. Saffarian M, De Winter JC, Happee R (2012) Automated driving: human-factors issues and design solutions. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 56, No. 1, pp. 2296-2300). Sage CA: Los Angeles
85. Banks VA, Stanton NA, Harvey C (2014) Sub-systems on the road to vehicle automation: Hands and feet free but not 'mind' free driving. *Safety science*, 62, 505-514
86. Gold C, Damböck D, Lorenz L, Bengler K (2013) "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop?. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 57, No. 1, pp. 1938-1942). Sage CA: Los Angeles
87. Abraham H, McAnulty H, Mehler B, Reimer B (2017) Case study of today's automotive dealerships: Introduction and delivery of advanced driver assistance systems. *Transportation research record*, 2660(1), 7-14
88. Goode N, Salmon PM, Lenné MG (2013) Simulation-based driver and vehicle crew training: applications, efficacy and future directions. *Applied ergonomics*, 44(3), 435-444
89. Foss RD (2007) Improving graduated driver licensing systems: A conceptual approach and its implications. *Journal of Safety Research*, 38(2), 185-192
90. ONISR (2018) Bilan 2018 de la sécurité routière. Rapport de l'Observatoire national interministériel de la sécurité routière. <https://www.onisr.securite-routiere.gouv.fr/etat-de-l-insecurite-routiere/bilans-annuels-de-la-securite-routiere/bilan-2018-de-la-securite-routiere>
91. Klauer SG, Dingus TA, Neale VL, Sudweeks JD, Ramsey DJ (2006) The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data. Retrieved from [vtechworks.lib.vt.edu](http://vtechworks.lib.vt.edu)
92. Tversky B (2011) Visualizing thought. *Topics in Cognitive Science*, 3(3), 499-535

## Annexe

Réf.	Étude	Conditions	Formation					Connaissance sur l'humain
			Format	Fonction. général	Act/ Désactivation	REM	Limites	
[73] Ebnali, Hulme, Ebnali-Heidari, & Mazloumi (2019)	Niveau 3 sur simulateur (n = 54)	Simulateur	150 min avec feedback de compétences	X	X	X	X	
		Vidéo	45 min sans feedback de compétences	X	X	X	X	
		Contrôle						
[47] Ebnali, Lamb, Fathi & Hulme (2021)	Niveau 3 sur simulateur (n = 84)	Vidéo		X	X	X	X	
		RV basse-fidélité	Vidéos + textes (sous forme de slides) Les deux groupes RV pouvaient cependant conduire (pratique interactive).	X	X	X	X	
		RV haute-fidélité		X	X	X	X	
		Contrôle						
[49] Forster, Hergeth, Naujoks, Krems & Keinath (2019)	Niveau 3 sur simulateur (n = 24)	Manuel propriétaire	4 pages, ressemblant aux manuels BMW de base, mais se concentrant exclusivement sur le fonctionnement du système autonome	X	X	X		
		Didacticiel interactif	Présentation du système + QCM sur écran tactile	X	X	X		
		Contrôle	Description orale globale du système	X				
[76] Hergeth, Lorenz, & Krems, (2017)	Niveau 3 sur simulateur (n = 110)	Sans phase de formation	Descriptif oral du fonctionnement du système	X	?			
		Description du système	Descriptif oral du fonctionnement du système + limites et icônes IHM	X	?		X	
		Utilisation du système	Descriptif oral du fonctionnement du système + essai pratique	X	?	X		
		Description + utilisation du système	Descriptif oral du fonctionnement du système + limites et icônes IHM + essai pratique	X	?	X	X	
[81] Payre, Cestac, & Delhomme (2016)	Niveau 4 sur simulateur (n = 69)	Pratique simple	Descriptif bref du système + partie pratique (démarrer manuellement le moteur pour atteindre 130 km/h, lancer la CA, puis l'éteindre après 1 minute et reprendre le contrôle manuel pour arrêter la voiture)	X	X	X		
		Pratique élaborée	Descriptif bref du système + partie pratique (les conducteurs devaient ici lancer la CA sur une autoroute avec d'autres automobilistes présents, une demande de reprise en main urgente se déclenche, les conducteurs avaient 3 secondes pour reprendre la main, ils remettent ensuite le système autonome en marche, puis reprennent la main pour finalement stopper le véhicule)	X	X	X		

[82] Payre, Cestac, Dang, Vienne, & Delhomme, (2017)	Niveau sur simulateur (n = 113)	Pratique simple (avec ou sans NDRT)	Les participants ont lu un texte sur le fonctionnement du système	X	X		X (sommolence)
		Pratique élaborée (avec ou sans NDRT)	Les participants ont lu un texte sur le fonctionnement du système et des questions leur ont été posées par l'expérimentateur puis ils ont visionné une vidéo avec une reprise en main	X	X	X	X (sommolence)
[79] Sportillo, Paljic, & Ojeda (2018)	Niveau 3 sur simulateur (n = 60)	Réalité Virtuelle	Vidéo présentant le fonctionnement d'un véhicule partiellement autonome + Session de CA	X	X	X	
		Simulateur	Vidéo présentant le fonctionnement d'un véhicule partiellement autonome + Session de CA	X	X	X	
		Manuel	Vidéo présentant le fonctionnement d'un véhicule partiellement autonome + Lecture d'un PPT de 8 slides présentant les fonctionnalités et les icônes	X	X		
[80] Sportillo, Paljic, & Ojeda (2019)	Niveau 3 sur WOz/route ouverte (n = 60)	Tutoriel vidéo	Formation via un tutoriel vidéo (à bord du véhicule)	X	X		
		Réalité Augmentée/ RA	Vidéo + session de formation en RA, c'est-à-dire dans un vrai véhicule mais avec des lunettes de réalité mixte)	X	X	X	
		Réalité Virtuelle/RV	Vidéo + session de conduite sur simulateur hors du véhicule (en RV)	X	X	X	
[83] Sahai, Barré & Bueno-Garcia (2021)	Niveau 3 sur WOz/route ouverte (n = 57)	Notice	1 page A4 présentant le fonctionnement du système	X	X	X	
		Vidéo	Vidéo de 3 minutes présentant l'intérieur d'un véhicule et un conducteur utilisant le système	X	X	X	
		Pratique	Réalisation d'un trajet de moins de 2 km par les participants sur route ouverte avec le véhicule WOz	X	X	X	

**Tableau récapitulatif** des études de niveau 3 et 4 ayant testé différents formats pour la formation. Nous présentons ici le contenu des formations dans chaque condition expérimentale : Fonctionnement général ; Activation/Désactivation ; Reprise en main/REM ; Limites du système ; Connaissance sur l'humain (X = présence de ce contenu ; ? = présence probable mais information non disponible dans le papier).