**DGITM/SAGS/EP** **16 décembre 2021**

**Document de travail**

# Acceptabilité du véhicule automatisé :

# Revue bibliographique des travaux 2021

## *Séminaire national sur l'acceptabilité du véhicule automatisé*

*Rédacteurs : Jamel CHAKIR, Jérémy DIEZ, Elsa LANAUD, Matthias de SAINT DENIS*

*Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM)*
*Service de l'administration générale et de la stratégie (SAGS)*
*Etudes et prospectives (EP)*

## Introduction

Le présent rapport présente une revue bibliographique des travaux réalisés sur l'acceptabilité du véhicule automatisé au cours de l'année 2021. Ce document actualise les précédentes versions rédigées lors des 4ème et 5ème séminaires sur l'acceptabilité du véhicule automatisé.

L'acceptabilité du véhicule automatisé (VA) fait toujours l'objet de nombreuses études, d'enquêtes auprès des usagers et de publications scientifiques qui ont pour objectif de quantifier et qualifier l'acceptabilité des usagers des futurs véhicules automatisés et connectés ainsi que des services liés à la mobilité autonome. Ces dernières années, l'accent a été mis sur l'usage de la mobilité particulière avec le véhicule particulier mais cette année en particulier, des études plus ciblées sur la mobilité partagée sous la forme de service de transport public automatisé apparaissent. Elles sont plus orientées et décrivent mieux les cas d'usage que nous connaissons aujourd'hui et qui font maintenant partie du cadre réglementaire français. Plutôt que de voir l'acceptabilité comme une donnée inconnue et non quantifiée pour les usagers, la possibilité de concevoir des études basées sur l'expérience des usagers et/ou des conducteurs est désormais un aspect clef de l'acceptabilité.

Ce document s'organise ainsi en deux parties :

I. Présentation des travaux sur l'acceptabilité globale des usagers, à l'image des précédents rapports bibliographiques. Ces travaux sont organisés comme suit :
   1- Présentation des ***enquêtes sur l'acceptabilité*** des véhicules autonomes et connectés (VAC). Celles-ci sont peu nombreuses étant donné que la période de crise sanitaire liée au COVID-19 ;
   2- Présentation des ***avancées des projets de recherche, nationaux et européens***, dont l'un des objectifs est de mesurer l'acceptabilité de l'automatisation des véhicules ;
   3- Présentation des ***articles académiques*** récents sur l'acceptabilité. Cette rubrique fait mention de divers travaux sur les différents aspects de l'acceptabilité des véhicules automatisés.

II. Présentation des travaux sur l'information et la « formation » et les besoins identifiés avec l'arrivée des véhicules automatisés. Ces travaux sont organisés comme suit :
   1- Introduction des réflexions dans le cadre des évolutions des véhicules du marché
   2- Importance de la formation pour la maîtrise des véhicules
   3- Lignes directrices et contenu de la formation
   4- La pratique au cœur du processus de formation
   5- Des propositions de modèles d'évaluation des performances et de la conduite des conducteurs

Table des matières

I. Acceptabilité des usagers ..... 8
*1.* Enquêtes d'acceptabilité récentes ..... 8
a. Self-Driving Vehicle Sentiment Survey, US ..... 8
b. Self-Driving Vehicle Sentiment Survey, Canada ..... 10
c. Self-Driving Vehicle Sentiment Survey, Canada ..... 12
d. Recommandations des études sur l'acceptabilité ..... 13
*2.* Travaux et projets sur l'acceptabilité des usagers ..... 14
e. Le projet français SURCA sur les enjeux de sécurité routière de la conduite automatisée ..... 14
f. Un projet européen sur l'analyse des perceptions à travers les réseaux sociaux ..... 18
g. PAsCAL, un projet global évaluant l'acceptabilité des usagers dans différents cas d'usage ..... 20
h. Le projet L3 Pilot ..... 25
i. TRUSTONOMY – un autre projet européen ..... 29
*3.* Articles académiques récents ..... 32
j. Revues de littérature de l'acceptabilité ..... 32
k. La mobilité collective et partagée ..... 39
l. Focus sur la propension à payer des usagers ..... 45
m. Focus sur une catégorie d'usagers : les personnes âgées ..... 48
n. Influence d'une simulation sur l'acceptabilité ..... 50
o. Ouverture sur des modèles de questionnaires d'acceptabilité ..... 53
II. Information et formation du conducteur ..... 60
*4.* Introduction d'une formation spécifique pour les conducteurs de véhicule équipés d'aides à la conduite ..... 60
*5.* Le conducteur actif du processus de maîtrise des systèmes ..... 65
p. Introduction et justification de nouveaux besoins en formation ..... 65
q. L'information ne suffit plus à la maîtrise des systèmes de conduite automatisée ..... 66
r. Apport d'un processus de familiarisation et de prise en main sur le niveau de confiance ..... 70
*6.* Premières lignes directrices réfléchies sur la formation ..... 74
s. Etablir des principes de formation aux Etats-Unis ..... 74
t. Des travaux en cours dans le cadre du programme cadre H2020 ..... 77
*7.* La pratique, un aspect clef du processus de formation ..... 81
u. Demande de reprise en main et réalité mixte comme solution pratique ..... 81
v. Impact de la formation et du module de formation ..... 87
w. Le contenu de la formation comme critère de performance ..... 91
x. Le manque de formation comme faille des systèmes ..... 94
*8.* Des propositions de modèles et de protocoles de formation ..... 96
y. Construction d'un modèle d'enseignement appuyé sur l'existant ..... 96
z. Conception d'un simulateur équipé d'un tuteur numérique destiné à être intégré dans les véhicules équipés d'ADAS ..... 97
aa. Construction d'un cadre de validation des aptitudes des conducteurs face aux ADAS ..... 100
III. Bibliographie ..... 103

Table des figures

*Figure 1 : Résultats sondage d'opinion à propos du développement des véhicules automatisés (US)* 8
*Figure 2 : Résultats sondage d'opinion sur des scénarios de services de mobilité automatisé (US)* 8
*Figure 3 : Chronologie d'adoption des véhicules automatisés (US)* 9
*Figure 4 : Résultats sondage d'opinion sur les principaux freins à l'adoption des véhicules automatisés (US)* 10
*Figure 5 : Résultats sondage d'opinion à propos du développement des véhicules automatisés (CA)* 10
*Figure 6 : Résultats sondage d'opinion sur les principaux freins à l'adoption des véhicules automatisés (CA)* 11
*Figure 7 : Résultats sondage d'opinion à propos du développement des véhicules automatisés (UK)* 12
*Figure 8 : Réponses des 17 jeunes avant et après l'expérience en simulateur. Les étoiles correspondent à la significativité des évolutions entre les deux périodes (* p < 0.05, ** p < 0.01 et *** p < 0.001)* 17
*Figure 9 : Temps minimum à la collision avec et sans tâche secondaire pour les 17 jeunes participants.* 17
*Figure 10 : Résultats présentés par perception pour l'ensemble des posts analysés.* 19
*Figure 11 : Résultats présentés pour tous les avis en fonction du réseau social.* 19
*Figure 12 : Polarité des opinions* 20
*Figure 13 : Graphiques présentant les résultats polarisés des réponses des répondants classés par pays pour les quatre facteurs significatifs identifiés* 24
*Figure 14 : Proportion des conducteurs d'accord pour utiliser le système* 28
*Figure 15 : Acceptabilité des usagers pour le système de stationnement automatisé* 29
*Figure 16 : Comparaison des cultures entre pays* 30
*Figure 17 : Comparaison de la confiance des répondants entre pays* 31
*Figure 18 : Comparaison de la confiance entre pays* 31
*Figure 19 : Exemple de choix du questionnaire à Lahore* 40
*Figure 20 : Sensibilisation des personnes interrogées aux VA partagés à Lahore et Dalian* 40
*Figure 21 : Préférences des personnes interrogées pour l'automatisation sur des trajets liés au travail ou à l'éducation* 41
*Figure 22 : Préférences des personnes interrogées pour l'automatisation sur des trajets liés aux courses/shopping* 41
*Figure 23 : Préférences de mobilité partagées pour des activités liées aux courses/shopping* 41
*Figure 24 : Préférences de mobilité partagée pour des activités liées aux déplacements sociaux* 42
*Figure 25 : Intention d'utiliser des bus automatisés à l'avenir (avant utilisation)* 43
*Figure 26 : Intention d'utiliser des bus automatisés à l'avenir (après utilisation)* 44
*Figure 27 : Sentiments de sécurité lors des déplacements en bus autonome* 45
*Figure 28 : Consentement à payer pour l'automatisation de niveau 4 par rapport aux prix du véhicule* 47
*Figure 29 : Fréquence des estimations de la propension à payer pour des véhicules hautement automatisés* 47
*Figure 30 : Estimation de la proportion à payer du prix total attribué à l'automatisation pour des véhicules hautement automatisés* 48
*Figure 31 : Comparaison entre les classements d'exposition avant et après FAV* 49
*Figure 32 : Ecarts moyens et type de tous les facteurs signalés d'acceptation des véhicules automatisés séparés par condition de conduite. Score allant de 1 (non acceptable) à 7 (acceptable).* 50
*Figure 33 : Résultats AVAM sur le sentiment perçu de sécurité lors de la simulation (1-pas d'accord, 7 d'accord)* 51
*Figure 34 : Résultats AVAM sur l'attitude vis-à-vis de l'utilisation de cette technologie* 52
*Figure 35 : Corrélation entre le sentiment de contrôle et l'expérience d'utilisateur* 52
*Figure 36 : Résultats UEQ-S des différentes interactions pendant et après le trajet pour les deux groupes de participants* 52
*Figure 37 : Réponses post interview des participants regroupées par énoncé* 53
*Figure 38 : Adoption des VA partagés et fonctionnalité automatisée* 56
*Figure 39 : Adoption du VA partagé et adoption de la technologie* 56
*Figure 40 : Intention d'usage des VA partagés en fonction des motifs de trajets* 57
*Figure 41 : Intention d'usage des VA partagés en fonction de l'âge* 57
*Figure 42: Pourcentages de bonnes réponses pour 21 scénarios* 68
*Figure 43 : Modèle de transition critique pour la sécurité entre le conducteur et le véhicule en fonction de l'automatisation des véhicules, avec impact possible de la formation* 71

*Figure 44 : Présentation de l'évolution du niveau de confiance des usagers pour chacun des scénarios avant, après et eux semaines après la session* 73
*Figure 45 : Moyenne des temps inter-véhiculaires pour les hommes et les femmes sur les trois tests réalisés en fonction du type de formation reçu en amont et en cas de contrôle manuel* 75
*Figure 46 : Durées moyennes des regards portés sur des zones autre que l'environnement de conduite en fonction de l'âge et de la réalisation ou non d'une activité secondaire et en fonction de l'utilisation des ADAS (ACC et ALKS)* 76
*Figure 47 : Réponses au questionnaire de l'appréciation de la première phase sur une échelle de Likert* 82
*Figure 48 : Moyenne des réponses avant et après la formation. Les valeurs indiquent les pourcentages d'évolutions des réponses* 83
*Figure 49 : Moyennes des temps de réaction avec les intervalles à 95 % pour chaque demande de reprise en main* 83
*Figure 50 : Moyennes et intervalles à 95 % du score de stress et de confiance attribués aux participants pendant les trois phases de la conduite automatisée. En bleu ceux qui ont reçu une préformation avec le manuel sur ordinateur, en rouge ceux qui ont eu une expérience dans le simulateur fixe et ceux qui ont eu le casque de réalité virtuelle* 83
*Figure 51 : Les temps de réaction en fonction des types de demande de reprise en main. Les moyennes sont exprimées en lignes pleines.* 85
*Figure 52 : Résultats du questionnaire d'évaluation de la formation* 85
*Figure 53 : Evolution des réponses au questionnaire d'opinions sur le véhicule automatisé au cours des réalisations des trois questionnaires identiques au début, au milieu et à la fin du protocole. Source : (Sportillo 2019)* 85
*Figure 54 : Rappel des différentes situations étudiées et du déploiement de la formation* 86
*Figure 55 : Schéma présentant la familiarisation des participants avec l'automatisation par la réalité virtuelle* 87
*Figure 56 : Schéma présentant l'évolution de la fiabilité de la formation dispensée en fonction des moyens de réalité virtuelle déployés* 88
*Figure 57 : Graphique présentant l'évolution du niveau de confiance entre les trois groupes avant et après l'expérience de conduite* 94
*Figure 58 : Graphique présentant les résultats de l'utilisation des ADAS pour les deux groupes pour les trois sessions* 99
*Figure 59 : Présentation des résultats de l'acceptabilité en fonction de la méthode de formation reçue* 100

Table des tableaux

*Tableau 1 : Conséquences positives et négatives pour les six domaines identifiés* 21
*Tableau 2 : études réalisées sur le consentement à payer* 46
*Tableau 3: Tableau présentant les proportions de participants à l'étude n'ayant pas reçu d'information sur les dispositifs présents dans leur véhicule à l'achat* 61
*Tableau 4 : Expérimentations réalisées sur les différentes sites pilotes* 79
*Tableau 5 : Résultats des temps de réaction pour les deux situations pour chacun des trois types de formation* 86
*Tableau 6 : les deux modules de formation avec les principales différences de conception* 92

## Synthèse sur l'acceptabilité des usagers

Des travaux récents, semblent dégager quelques enseignements communs :

- De façon générale, le sentiment de confiance dans le véhicule automatisé et l'intention de l'utiliser, restent mitigés dans les principaux pays (France, Allemagne et USA), sans qu'il soit possible d'identifier ni un rejet marqué, ni une adhésion claire. En revanche certains pays comme Italie et Royaume-Uni montrent des intentions d'usage plus marquées.
- La notoriété de la thématique est toujours élevée.
- L'usage en conditions réelles (par exemple dans des expérimentations) favorise grandement l'acceptabilité et en particulier le niveau de confiance. En particulier, la familiarisation peut permettre un rétablissement plus modéré de la confiance.
- L'absence de conducteur à bord dans les services de navette ou de bus automatisés suscite des réticences de moins en moins marquées. L'acceptabilité est donc moins dépendante de la présence d'un opérateur à bord, présent physiquement dans la navette.
- Le niveau de service et le prix restent déterminants pour l'acceptabilité, encore une fois les usagers ne sont pas prêts à dépenser de fortes sommes pour l'automatisation et en particulier pour les véhicules particuliers. Le constat n'est pas le même pour la mobilité partagée : les usagers sont prêts à payer en moyenne légèrement plus cher pour des services de transports publics automatisés.
- L'inclusion sociale permise par la mobilité automatisée pour certaines catégories de la population est perçue très positivement mais de inquiétudes persistent sur la capacité de la mobilité automatisée à inclure certaines catégories de la population (notamment personnes aveugles ou malvoyantes).
- Le volet information et formation est de plus en plus présent dans la littérature. Des besoins apparaissent et des études concluent sur l'importance de réfléchir sur un processus complet de formation du conducteur ; celles-ci sont détaillées dans la seconde partie.

# I. Acceptabilité des usagers

## 1. Enquêtes d'acceptabilité récentes

Cette première partie permet de dresser un bilan sur les enquêtes d'opinion sur l'acceptabilité du véhicule automatisé. Ces enquêtes sont peu nombreuses depuis mi 2021 (dernière édition du séminaire sur l'acceptabilité du véhicule automatisé).

Dans cette section, trois études sont présentées, toutes produites par la même entreprise américaine, CarGurus. Il s'agit d'un site Web de recherche et d'achat automobile basé à Cambridge dans le Massachusetts et opérant aux États-Unis, au Canada et au Royaume-Unis. Ces trois études ont été réalisées en avril 2021, à l'aide d'un sondage d'opinion en ligne portant sur la perception et l'acceptabilité à l'égard des véhicules automatisés et des nouvelles systèmes d'aide à la conduite (ADAS). Ces trois études analysent respectivement les résultats de propriétaires de voitures résidant aux États-Unis, au Canada et au Royaume-Unis.

### a. Self-Driving Vehicle Sentiment Survey, US

Cette première étude, menée en avril 2021, a interrogé 1247 propriétaires de voiture résidant aux États-Unis. L'échantillon était représentatif de la population américaine (sexe, région, revenu) selon le recensement américain (CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - United States 2021). De plus, cette étude a comparé les résultats des études antérieures réalisé par CarGurus lors des années 2019 et 2018 (avec un nombre équivalent de répondant).

**Notion de confort avec les véhicules automatisés**

L'étude relève tout d'abord **une amélioration du sentiment de confiance à l'égard des véhicules automatisés entre 2018 et 2021** et un sentiment de neutralité plus important sur le sujet. Cela est visible à travers une augmentation de l'enthousiasme à l'égard du développement des VA et avec des individus globalement moins préoccupés. Les individus se sentent particulièrement plus confortables à l'idée de « piloter » un VA et moins à l'idée de partager les routes avec des camions de livraison ou des flottes autonomes. Ci-dessous figurent les résultats du sondage à propos du développement des VA.

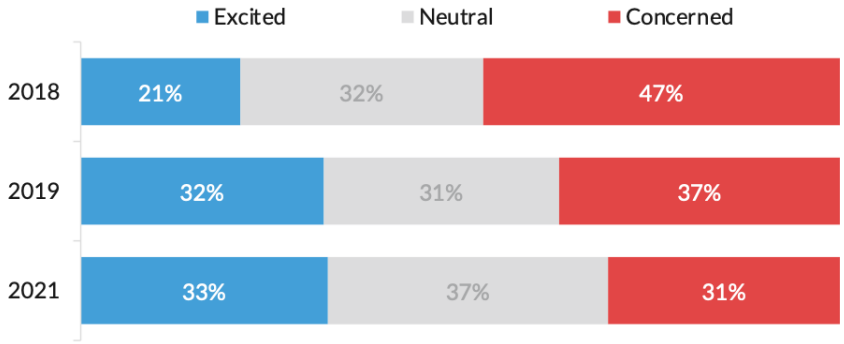



*Figure 1 : Résultats sondage d'opinion à propos du développement des véhicules automatisés (US)*

*Source : (CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - United States 2021)*

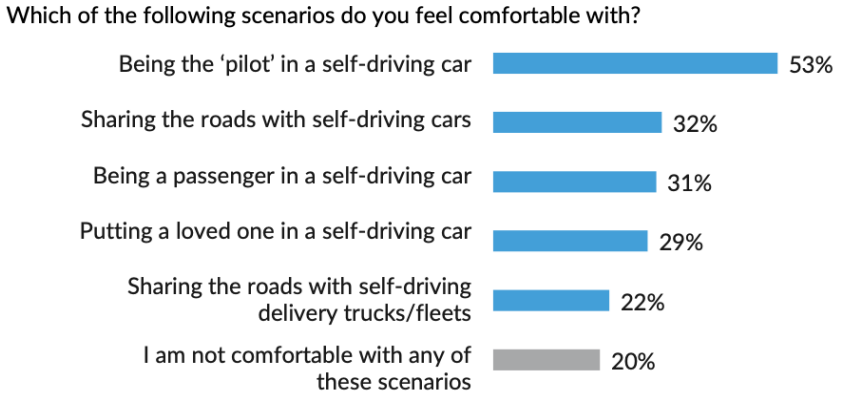



*Figure 2 : Résultats sondage d'opinion sur des scénarios de services de mobilité automatisé (US)*

*Source : (CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - United States 2021)*

**Chronologie de l'adoption des véhicules automatisés**
Les attentes des répondants montrent une augmentation du pourcentage de répondants déclarant s'attendre à posséder un VA au cours des cinq ou des dix prochaines années, dont un tiers des répondants qui s'attendent à posséder un VA au cours des dix prochaines années. **Les répondants soulignent l'énorme progrès technologique que représentent ces nouvelles technologies mais ils semblent encore réticents face aux aspects de sécurité (51 %) et du prix de ces véhicules (45 %). Les questions de responsabilité sont également au cœur des préoccupations des américains (43 %).** Le graphique ci-dessous présente les réponses des usagers à propose de l'adoption des VA.

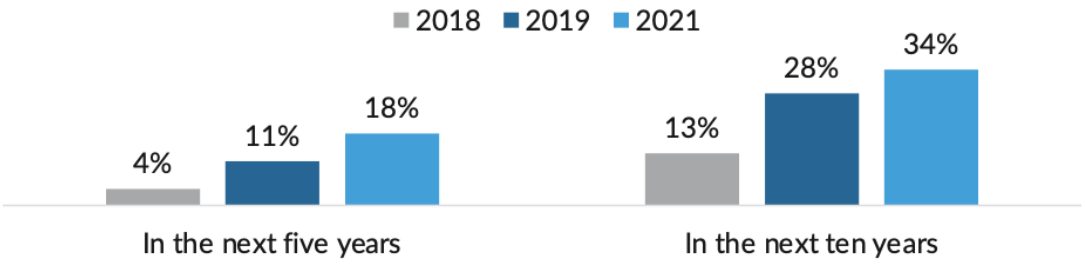



*Figure 3 : Chronologie d'adoption des véhicules automatisés (US)*

*Source : (CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - United States 2021)*

**Fonctions d'aide à la conduite**
Concernant les fonctions d'aide à la conduite, celles-ci semblent plus acceptées par les répondants avec 68 % d'entre eux qui les considèrent comme un outil rendant les voyages plus surs. Ces technologies sont très recherchées par les répondants avec 56 % d'entre eux qui souhaitent posséder un dispositif de surveillance des angles morts par exemple. **De manière générale, les dispositifs qui permettent au conducteur de mieux détecter son environnement proche comme aide à la perception sont souhaités** dont parmi eux la détection des piétons (53 %), caméra de recul (39 % le souhaitent et 42 % l'ont déjà) ou une caméra de contrôle des alentours (53 %). **Par ailleurs, les dispositifs de contrôle latéral** (maintien dans la voie à 40 %) **et longitudinal** (contrôle de vitesse adaptatif à 37 %) **seraient également appréciés** mais sont pour l'instant moins présents dans les véhicules.

**Possible utilisation des véhicules automatisés**
Les répondants ont ensuite été interrogés sur les possibilités d'utilisation type des VA. L'utilisation ayant eu le plus de réponse (56 %) est celle d'un véhicule automatisé leur permettant de rentrer chez eux en toute sécurité lorsqu'ils sont en incapacité de le faire. La deuxième réponse la plus sollicitée (avec 42 %) correspond au cas d'usage dans lequel le véhicule se gare tout seul. **Par ailleurs, le cas d'usage logistique émerge puisque 36 % des répondants aimeraient que le véhicule soit en mesure de récupérer une course pour eux.**

Ces véhicules automatisés pourraient aussi être intégrés dans des services de mobilité comme les transports publics ou les services de véhicule avec chauffeur (de type Uber ou autres). **34% des répondants seraient susceptibles de prendre un véhicule automatisé fournie par un organisme de transport public et 37 % pourraient prendre un véhicule automatisé fourni par un service de véhicule avec chauffeur (VTC).**

**Niveau de confiance envers les constructeurs**
Concernant la confiance des individus envers les constructeurs, seul Tesla retient l'attention et la confiance des répondants (américains) avec un tiers d'avis favorable. Les répondants semblent ensuite n'apporter aucune confiance aux autres constructeurs avec 19 % d'individus n'ayant confiance à aucune entreprise pour développer cette technologie.

**L'un des principaux freins à l'adoption des véhicules automatisés provient d'un manque de confiance** envers une **technologie jugée trop récente** et des promesses encore trop floues au sujet des capacités de conduite automatisée. De plus, le niveau de sécurité, qui est une composante essentielle à l'adoption des

VA, n'est pas mis en avant par la forte médiatisation des accidents mettant en scène un VA. Les résultats des participants à l'étude sur ce volet sont présentés dans la Figure 4.

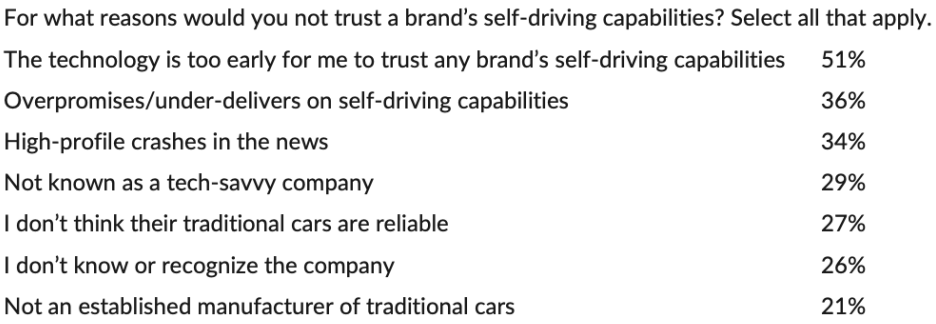



*Figure 4 : Résultats sondage d'opinion sur les principaux freins à l'adoption des véhicules automatisés (US)*

*Source : (CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - United States 2021)*

Sur la question de la responsabilité, les usagers déclarent que si un accident impliquait un VA sans conducteur à bord, la faute serait imputée à 44 % au conducteur assis sur le siège conducteur et à 56 % au constructeur.

En conclusion, cette étude montre que l'intérêt pour les VA stagne, en comparaison à la technologie qui stagne aussi. **Les consommateurs sont pour l'instant plus intéressés par des systèmes d'aide à la conduite de niveau 1 à 3.**

**En outre, l'étude place des recommandations pour les concessionnaires dont parmi elles figure le besoin de formation des usagers.** Etant donné que la plupart des consommateurs s'apprêtent à acheter un VA d'ici une dizaine d'années, l'intérêt est fort. 68 % pensent que les ADAS peuvent permettre de rendre la conduite plus sure et sont un tremplin vers l'automatisation.

### b. Self-Driving Vehicle Sentiment Survey, Canada

Cette deuxième étude, menée en avril 2021, a interrogé cette fois-ci 480 propriétaires de voiture résidant au Canada (CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - Canada 2021). Encore une fois, l'échantillon était représentatif de la population canadienne.

**Notion de confort avec les véhicules automatisés**

La **notion de confiance et de confort à l'égard du développement des véhicules automatisés ne fait pas consensus parmi les répondants**. Environ un tiers d'entre eux sont assez excités à l'idée d'avoir des VA tandis qu'un pourcentage équivalent est relativement préoccupé et un dernier gros tiers est assez neutre sur le sujet. Tout comme l'étude aux Etats-Unis, les individus se sentent particulièrement plus confortables à l'idée de « piloter » un véhicule automatisé et moins à l'idée de partager les routes avec des camions de livraison ou des flottes autonomes ou de mettre un proche à l'intérieur d'un VA.

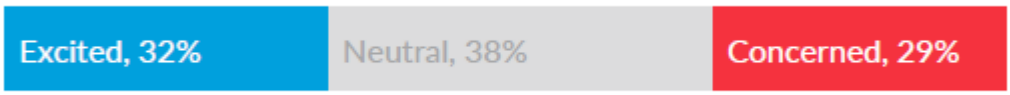



*Figure 5 : Résultats sondage d'opinion à propos du développement des véhicules automatisés (CA)*

*Source : (CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - Canada 2021)*

**Chronologie de l'adoption des véhicules automatisés**

Vis-à-vis de l'adoption de ces véhicules, **moins de 1 personne sur 5 déclare s'attendre à posséder un véhicule automatisé dans les cinq prochaines années**. Et environ un tiers déclare s'attendre à posséder ce type de véhicule dans les dix prochaines années. Les mêmes motifs d'excitation et sujets d'inquiétude sont soulevés

par les canadiens et parmi eux notamment, l'important progrès technologique (44 % d'intérêt positif), le prix (49 % de préoccupations) et la sécurité (44 % de préoccupation) de ces nouveaux véhicules.

**Fonctions d'aide à la conduite**

Concernant les dispositifs d'aide à la conduite, les résultats sont assez similaires avec la précédente étude. **70 % des répondants considèrent les ADAS comme des outils rendant les voyages plus surs**. **De manière générale, les dispositifs qui permettent au conducteur de mieux détecter son environnement proche comme aide à la perception sont recherchés** dont parmi eux la détection des piétons (54 %), caméra de recul (40 % le souhaitent et 31 % l'ont déjà) ou une caméra de contrôle des alentours (54 %). **Par ailleurs, les dispositifs de contrôle latéral** (maintien dans la voie à 41 %) **et longitudinal** (contrôle de vitesse adaptatif à 38 %) **seraient également appréciés** mais sont pour l'instant moins présents dans les véhicules.

**Possible utilisation des véhicules automatisés**

De même au sujet des cas d'usage, la précédente étude et celle-ci arrivent aux mêmes résultats. L'usage majoritairement recherché est celle d'un véhicule automatisé leur permettant de rentrer chez eux en toute sécurité lorsqu'ils sont en incapacité de le faire (53 %), de même que dans l'étude américaine. La deuxième réponse la plus sollicitée correspond au cas d'usage dans lequel le véhicule est capable de se stationner tout seul (37 %). **Encore une fois, on constate l'émergence du cas d'usage logistique avec 31 % qui souhaiteraient pouvoir récupérer des courses grâce à un VA.**

Concernant l'intégration de ces nouveaux véhicules dans des services de mobilité, les intentions d'usage de ces types de services sont similaires pour les services de véhicule avec chauffeur (VTC, type Uber ou autres) avec 33 % d'intention d'usage. **Cependant, elles sont moins marquées dans le cadre d'une intégration dans un service de transport public avec seulement 26 % d'intention d'usage.**

**Niveau de confiance envers les constructeurs**

Au sujet de la confiance des individus envers les constructeurs de véhicules automatisés, les résultats sont très similaires avec uniquement Tesla qui retient l'attention et la confiance des répondants avec un tiers d'avis favorable. Les répondants semblent ensuite n'apporter aucune confiance aux autres constructeurs avec 28 % d'individus n'ayant confiance à aucune entreprise pour développer cette technologie.

Le manque de confiance envers ces nouvelles technologies jugées trop récentes ainsi que des promesses encore trop floues au sujet des capacités de conduite automatisé sont les principaux freins à l'adoption des véhicules automatisés pour les consommateurs au Canada.

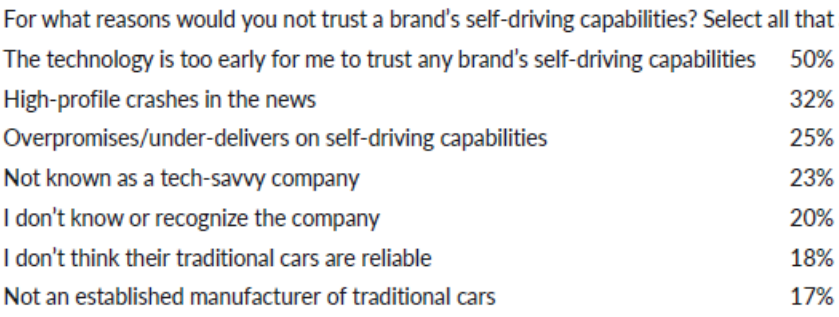



*Figure 6 : Résultats sondage d'opinion sur les principaux freins à l'adoption des véhicules automatisés (CA)*

Source : *(CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - Canada 2021)*

Sur la question de la responsabilité, en cas d'accident impliquant un véhicule conduit sans conducteur, 45 % des répondants pensent que la responsabilité à engager serait celle de la personne assise sur le siège conducteur et 55 % pensent que c'est le constructeur qui devrait être reconnu responsable.

Enfin, **l'étude émet les mêmes recommandations qu'aux Etats-Unis sur la formation.** 70 % des répondants pensent que ces systèmes (ADAS) seraient capables de rendre la conduite plus sure et qu'ils sont un premier pas vers l'automatisation. L'intérêt porté sur les VA est fort, c'est pourquoi une sensibilisation des équipes des concessions est un levier de l'acceptabilité.

## c. Self-Driving Vehicle Sentiment Survey, Canada

Cette troisième et dernière étude réalisé par CarGurus, menée en avril 2021, a interrogé cette fois-ci 1007 propriétaires de voiture résidant au Royaume-Uni (CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - Royaume-Uni 2021). L'échantillon est représentatif de la population britannique. Les résultats de cette étude sont encore une fois très similaires aux deux précédentes études présentées précédemment.

**Notion de confort avec les véhicules automatisés**

Ici, la **notion de confiance à l'égard du développement des VA ne fait toujours pas consensus parmi les répondants**. Une proportion légèrement plus faible des répondants ressent de l'excitation (30 %) en comparaison des précédentes études, et plus de 70 % ont un avis neutre ou préoccupé à l'égard de ce développement. Contrairement aux études précédents, la majorité des répondants ne se sent pas confortable avec l'arrivée de tels véhicules sur les routes (41 %). **39 % se sent de conduire un véhicule automatisé mais 24 % seulement se sent prêt à être passager dans un VA.** L'idée de partager les routes avec des camions de livraison ou des flottes autonomes et celle de mettre un proche à l'intérieur de ces véhicules arrivent en dernière position dans les préférences des répondants.

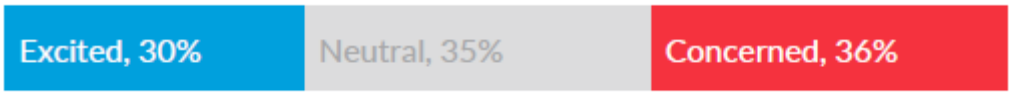



*Figure 7 : Résultats sondage d'opinion à propos du développement des véhicules automatisés (UK)*

Source : *(CarGurus, Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - Royaume-Uni 2021)*

**Chronologie de l'adoption des véhicules automatisés**

Vis-à-vis de l'adoption de ces véhicules, seulement 17 % des répondants déclarent s'attendre à posséder un véhicule automatisé dans les cinq prochaines années. Et 31 % d'entre eux déclarent s'attendre à posséder ce type de véhicule dans les dix prochaines années. Les mêmes motifs d'intérêt reviennent avec une importance attribuée au progrès technologique (45 %) de ces véhicules ainsi que pour leur prix (48 % sont préoccupés par le coût) et leur sécurité (44 % sont préoccupés par la sécurité).

**Fonctions d'aide à la conduite**

Les résultats du Royaume-Uni sont assez similaires aux deux précédentes études avec 68 % des répondants qui considèrent les dispositifs ADAS comme des outils rendant les voyages plus surs. **De manière générale, les dispositifs qui permettent au conducteur de mieux détecter son environnement proche comme aide à la perception sont recherchés** dont parmi eux la détection des piétons (47 %), caméra de recul (51 % le souhaitent et 19 % seulement l'ont déjà, ce qui est plus faible qu'aux Etats-Unis ou au Canada) ou une caméra de contrôle des alentours (48 %). **Par ailleurs, les dispositifs de contrôle latéral** (maintien dans la voie à 36 %) **et longitudinal** (contrôle de vitesse adaptatif à 37 %) **seraient également appréciés** mais sont pour l'instant moins présents dans les véhicules.

**Possible utilisation des véhicules automatisés**

Encore une fois, les deux cas d'usage ayant eu le plus de réponses positives sont respectivement, le cas où le véhicule automatisé est utilisé en tant que moyen de transport lorsqu'les conducteurs sont en incapacité de rentrer chez eux en tout sécurité (49 %) et le cas d'usage dans lequel le véhicule se stationne tout seul (34 %).

On retrouve les mêmes proportions d'intention d'usage des véhicules automatisés dans des services de transports avec 34 % d'intention d'usage dans le cadre de service de VTC et 28 % d'intention d'usage dans le cadre de services de transport public. **Tout comme les canadiens, les britanniques sont moins enclins à prendre des services de transport publics routiers automatisé que les américains.**

**Niveau de confiance envers les constructeurs**
Au Royaume-Uni, le tiers des répondants n'accordent aucune confiance aux constructeurs proposés. **Contrairement aux résultats outre atlantique où Tesla s'impose comme leader dans le domaine, la vision européenne semble être plus réticente à faire confiance au géant américain.** Par exemple, si la technologie était mature, les répondants seraient plus confiants d'utiliser des modèles européens (BMW, Audi et Mercedes dont respectivement 44, 42 et 27 % sont susceptibles de faire confiance à ces constructeurs) qu'à Tesla (33 %).

Enfin, le manque de confiance envers ces nouvelles technologies jugées trop récentes revient en première position pour les répondants (avec 51 %) comme pour les deux précédentes études. **Pour les consommateurs du Royaume-Uni se sont les récents accidents médiatisés qui arrivent en deuxième position avec 30 % et qui ne favorisent pas leur confiance.**

En termes de responsabilité, 48 % des consommateurs pensent qu'en cas d'accident, la responsabilité du conducteur est engagée et 52 % pensent que le constructeur est responsable. Au Royaume-Uni, la balance est un peu moins tranchée qu'outre atlantique.

Enfin, le besoin de formation des équipes semble être identifié comme un levier d'amélioration de l'acceptabilité globale et notamment du niveau de confiance.

### d. Recommandations des études sur l'acceptabilité

En conclusion, quatre points essentiels ressortent de ces études :

- **L'engouement des consommateurs envers les véhicules automatisés semblent ralentir et une indifférence semble s'installer**. Les progrès technologiques ne semblent pas assez importants pour offrir des produits correspondant à leurs attentes.
- Les **consommateurs actuels semblent plus attirés par des fonctionnalités relatives à des niveaux d'automatisation inférieurs (niveau 1-3) et par les technologies d'aide à la conduite**. Ces technologies offrent plus de confiance pour les consommateurs et de réelles améliorations de conduite.
- Les avantages significatifs apportés par les véhicules automatisés ne sont pas encore clairs et identifiés par les consommateurs. Ils perçoivent les VA comme un moyen de transport lorsqu'ils ne peuvent pas conduire eux même (ce qui peut être réalisé par les services de VTC).
- Enfin, les **consommateurs ont très peu de confiance envers les constructeurs** (hormis Tesla outre atlantique) **du fait des promesses jugées excessives et des accidents médiatisés**.

Afin d'accroitre l'intérêt des individus envers les véhicules automatisés, les principales recommandations visent à accroitre **les informations et les formations pour les consommateurs**. L'intérêt pour les ADAS est très fort et mérite d'entre entretenus car il pourrait représenter un tremplin pour les véhicules automatisés. Les recommandations concernant l'information et la formation du conducteur sont reprises en deuxième partie.

## 2. Travaux et projets sur l'acceptabilité des usagers

Cette partie s'intéresse au traitement et à l'analyse de l'acceptabilité des usagers dans différents projets réalisés que ce soit à l'échelle nationale ou à l'échelle européenne.

A une échelle nationale, la France via la dévolution de la Fondation à la Sécurité routière et le projet Sécurité des usagers de la route et conduite automatisée (SURCA) s'intéresse à ces problématiques avec un lien poussé entre véhicule automatisé et comportement des usagers, en particulier l'acceptabilité des personnes âgées[1].

A l'échelle européenne, les projets du programme cadre H2020 ont avancé et la plupart ont déjà rendu leurs résultats sur l'acceptabilité des usagers. Certains d'entre eux sont d'ores et déjà finalisés, en intégralité ou du moins pour la partie acceptabilité pure et ont été présentés lors des dernières éditions des séminaires acceptabilité, comme c'est le cas des projets BRAVE et AVENUE. D'autres sont en cours de réalisation et des travaux complémentaires s'ajoutent à ceux déjà présentés lors de la dernière note bibliographique[2], comme c'est le cas de TRUSTONOMY, L3Pilot, PAsCAL et Drive2theFuture. Enfin, le projet DIAMONDS est introduit car des travaux sur l'acceptabilité ont été publiés.

Ces projets s'intéressent non seulement à l'acceptabilité des usagers mais également à l'évolution de cette acceptabilité après réalisation d'expérimentations ou de mises en situations. Ces travaux ne sont pas décrits en détails ici car nous nous concentrons plus sur les enquêtes d'acceptabilité. Cependant, dans le cadre de la présentation des travaux sur la formation, ces projets européens pourraient être pertinents. Dans la plupart des cas, ces projets n'ont pas encore été terminés et les résultats pas encore partagés.

### e. Le projet français SURCA sur les enjeux de sécurité routière de la conduite automatisée

*La première partie des travaux présentés dans cette note bibliographique sur le projet SURCA sont repris directement du précédent rapport. Un complément a été ajouté notamment sur la partie mise en situation sur le panel de personnes âgées, qui n'avait pas été présenté lors de la présentation des premiers résultats début 2021.*

Le projet SURCA est financé par la dévolution de la Fondation Sécurité routière, la Délégation à la Sécurité routière (DSR) à hauteur de 50 %. Les autres partenaires du projet sont le Centre européen d'Etudes de sécurité et d'Analyses des risques (CEESAR), le Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA), le Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et d'études du comportement humain (LAB), l'Université Gustave Eiffel (UGE) et l'Institut VEDECOM.

Les objectifs du projet sont les suivants[3] :

- Identifier les interactions et les stratégies pertinentes mises en place par les conducteurs en analysant les bases de données existantes pour identifier les facteurs comportements et en simulant les modifications comportementales face au VA ;
- Identifier les nouvelles postures induites par le VA en étudiant les nouveaux risques lésionnels ;
- Faire des recommandations notamment sur les points suivants : sur le comportement du VA, sur les besoins de communication du VA en phase active avec les autres usagers, sur les besoins de formation des usagers et des conducteurs et sur les postures acceptables selon les différents systèmes de retenue.

L'une des tâches concerne l'analyse des besoins des usagers âgés. Ce paquet comprend deux sous-tâches :

i. Utilisation et acceptation des aides et assistances actuelles par les conducteurs âgés (8.1) ;

[1] https://surca.univ-gustave-eiffel.fr

[2] Revue bibliographique des travaux 2020-2021, Séminaire national sur l'acceptabilité du véhicule automatisé, DGITM, 28 mai 2021

[3] Ce paragraphe est issu de la présentation d'Hélène Tattegrain et Vincent Ledoux lors du séminaire sur les enjeux de sécurité routière de la conduite automatisée **Source spécifiée non valide.**

ii. Bénéfices et limites de l'utilisation d'un véhicule automatisé pour une population de conducteurs âgés (8.2).

La présentation de Sylviane Lafont et Maud Ranchet pendant le séminaire a explicité les travaux réalisés sur les attentes et l'acceptabilité des véhicules automatisés par les conducteurs âgés (Lafont et Ranchet, Analyse des attentes et acceptabilité des véhicules automatisés par les conducteurs âgés 2021). Les apports de cette note bibliographique par rapport à la précédente note rédigée pour la 5ème édition du séminaire se basent sur une présentation datée du 6 juin 2021, réalisée après la tenue du séminaire (Lafont, Pilet, et al. 2021).

L'analyse de l'acceptabilité dans le projet SURCA repose donc sur deux phases distinctes afin d'une part de tester l'acceptabilité a priori des usagers âgés (i) et d'autre part de mesurer l'acceptabilité et l'acceptation par une mise en situation (ii).

i. Acceptation a priori, dont l'objectif est de caractériser l'hétérogénéité des conducteurs âgés vis-à-vis de l'automatisation des véhicules notamment sur l'acceptabilité d'un véhicule automatisé de niveau 3 (SAE 3) et sur les attentes d'un véhicule totalement automatisé (SAE 5). L'analyse a été réalisée sur un groupe de 573 conducteurs âgés par auto-questionnaire postal.
ii. Acceptabilité par mise en situation, dont l'objectif est de dresser un état de l'art sur les questions de reprise en main pour les conducteurs âgés et d'étudier les capacités de cette reprise en main. Cette analyse a été réalisée sur des conducteurs jeunes et âgés à partir d'un simulateur de conduite et d'un questionnaire.

**Acceptation a priori (tâche 8.1)**
L'analyse a été réalisée à partir du projet *Cohorte Safe Move*, de l'Agence nationale de la recherche (ANR) de 2012 à 2015, qui avait initialement concerné 1204 participants. Le suivi à six ans pour le cadre de cette étude a été mené sur 1145 personnes, les personnes décédées représentant 2 % de l'échantillon de départ. 614 participants soir 54 % ont accepté et répondu à l'étude (11 % n'ont pas été joignables, 4 % sont décédés, 1 % a refusé, 30 % n'a pas donné de réponse).

L'étude a été effectuée sur 573 conducteurs, les personnes ayant arrêté de conduire ont été exclues. L'âge moyen des interrogés est de 81 ans (avec un écart-type de 4 ans pour des âges minimum et maximum respectivement de 75 et 95 ans), dont 65 % sont des hommes. Au niveau des caractéristiques socio-professionnelles, 51 % ont un niveau d'études supérieur au BAC, 46 % sont des cadres. Enfin, 32 % vivent seuls tandis que 22 % vivent en zone rurale.

A l'issue de la première phase, trois groupes ont été constitués selon les intentions d'usage d'un potentiel VA de niveau 3 et a confiance accordée à un tel véhicule :

- Les **convaincus** : ils ont (potentiellement) l'intention d'utiliser un VA et ont confiance en celui-ci (46 %) ;
- Les **hésitants** : ils n'ont pas l'intention d'en utiliser un pour l'instant et en ont une confiance limitée ; cependant, une formation, un retour d'expérience ou un essai pourrait avoir des conséquences positives sur leur acceptation du VA (32 %) ;
- Les **réfractaires** : ils n'ont ni confiance ni l'intention d'utiliser un VA et pour lesquels aucune formation, REX ou essai n'est susceptible de les faire changer d'avis (6 %).

Les trois groupes ont ensuite été comparés les uns aux autres. Il apparaît qu'aucune différence significative puisse expliquer la répartition. Les usagers ne sont pas statistiquement répartis selon leur niveau d'études, leur revenu ou encore leur mode de vie. Cependant, il apparaît que les convaincus ont tendance à utiliser plus massivement des technologies nouvelles (ordinateur portable notamment), sont aussi plus nombreux à conduire régulièrement et à utiliser un véhicule plus récent que les hésitants. De même, les hésitants ont tendance à être plus utilisateurs de nouvelles technologies et de leur véhicule que les réfractaires.

Des analyses ont aussi été menées sur l'utilisation des aides à la conduite (ADAS) dont parmi elles l'aide à la géolocalisation (GPS[4]), la climatisation, l'avertisseur de franchissement de ligne, les informations sur le trafic, le régulateur de vitesse ou l'adaptateur ou encore le radar de recul. Au total 17 ADAS ont été présentés aux participants. Il ressort que les convaincus utilisent plus et plus souvent certains ADAS que les hésitants, qui eux-mêmes les utilisent plus et plus souvent que les réfractaires. **Finalement, parmi les 17 ADAS présentés, 6 sont utilisés en moyenne chez les convaincus, 4 chez les hésitants et 3 chez les réfractaires.**

En considérant maintenant uniquement les ADAS suivants : **GPS – régulateur de vitesse – limiteur de vitesse**. **75 % des convaincus utilisent au moins une de ces trois technologies contre 58 % chez les hésitants et 41 % chez les réfractaires.**

En ce qui concerne les craintes exprimées sur les véhicules automatisés de niveau 3 c'est-à-dire sur les véhicules conditionnellement automatisés, **63 % des répondants ont émis des craintes sur ces systèmes** (46 % parmi les convaincus, 73 % parmi les hésitants et 82 % parmi les réfractaires). Parmi les principales raisons de ces craintes, le prix apparaît comme premier frein pour les convaincus et les hésitants tandis que chez les réfractaires, le principal frein est de ne pas pouvoir contrôler les situations. De plus, **le manque de fiabilité des systèmes apparaît comme frein important pour les participants** (2ème pour les convaincus, 3ème pour le reste), ce qui rejoint les enquêtes de CarGurus présentées dans la première partie de ce document.

Les participants ont aussi donné leurs attentes vis-à-vis un véhicule totalement automatisé. 57 % ont ainsi exprimé au moins une attente ; trois domaines ont été pris en compte :

- Attentes sur la sécurité ;
- Attentes sur les performances : parcourir de plus longues distances, pouvoir réaliser d'autres tâches que la conduite, utiliser leur véhicule plus fréquemment ou encore utiliser leur véhicule dans des situations plus complexes qu'aujourd'hui ;
- Attentes sur un rôle de compensation : utiliser le véhicule malgré une dégradation de l'état de santé, utiliser le véhicule après avoir bu de l'alcool, utiliser le véhicule en étant fatigué.

Les convaincus et les hésitants ont plus largement exprimés des attentes sur la sécurité (respectivement à 60 et 41 %) tandis que les réfractaires ont une attente plus orientée sur les perspectives de compensation (43 %).

Ainsi, à ce stade, l'étude montre des **conducteurs âgés plutôt favorables aux nouvelles technologies**. Les groupes effectués sont assez différents selon les caractéristiques socio-professionnelles des usagers mais plus les personnes interrogées sont réfractaires à l'utilisation des VA, moins elles utilisent en moyenne des ADAS. Ces réfractaires sont étonnement moins attentifs au caractère sécuritaire d'un potentiel VA tandis que les convaincus et les hésitants y sont plus attentifs. Pour les aspects liés à la compensation, les tendances s'inversent.

**Acceptabilité par mise en situation**

L'objectif de cette phase est **de dresser un état de l'art sur les questions de reprise en main pour les conducteurs âgés** et **d'étudier les capacités de cette reprise en main**. De manière générale, la reprise en main nécessite un traitement rapide de l'information, de reconnaître les dangers de la route, de choisir une réponse adaptée, et d'avoir de bonnes capacités psychomotrices. Il existe à ce jour encore peu d'études sur les capacités de la reprise en main des personnes âgées.

L'utilisation d'un simulateur de conduite automatisée doit permettre de comparer l'acceptation du dispositif par les usagers avant et après l'expérience. Ce simulateur doit aussi permettre d'étudier les capacités de reprise en main des usagers, et notamment l'impact d'une tâche non liée à la conduite.

L'expérimentation a été réalisée sur 32 conducteurs : **4 conducteurs âgés et 28 conducteurs jeunes**. *Lors du dernier rapport bibliographique, les conducteurs âgés n'avaient pas encore réalisé l'expérimentation.*

[4] Du terme anglais *Global positioning system.*

Le déroulement est le suivant : visionnage d'une conduite automatisée, remplissage d'un questionnaire avant et après cette vidéo notamment sur les attentes, les craintes, la confiance en le VA. Au niveau de la conduite autonome, les usagers doivent préciser les situations dans lesquelles ils souhaitent reprendre en main le véhicule, bien que la conduite soit totalement automatisée, l'idée étant de comparer la conduite manuelle et automatisée dans différentes situations. De plus, cette étude cherche à mesurer l'impact d'une tâche secondaire exercée pendant la conduite.

Le simulateur permet ensuite la mise en situation des usagers. Les indicateurs utilisés sont les suivants : **temps de reprise en main, qualité de la reprise en main (vitesse moyenne après reprise en main, variabilité de la vitesse et de la position latérales dans la voie, temps minimum à la collision).** De plus, le score à la tâche secondaire est évalué, cette tâche étant adaptée aux ressources cognitives du conducteur.

Les premiers résultats présentés le sont sur **17 personnes jeunes**. L'expérience en simulateur semble favoriser l'acceptation de la conduite automatisée. Le graphique ci-dessous montre les réponses des usagers avant et après le simulateur. On leur a demandé de sélectionner les adjectifs qui leur semblait les plus appropriés (sans limite de nombre de réponses).

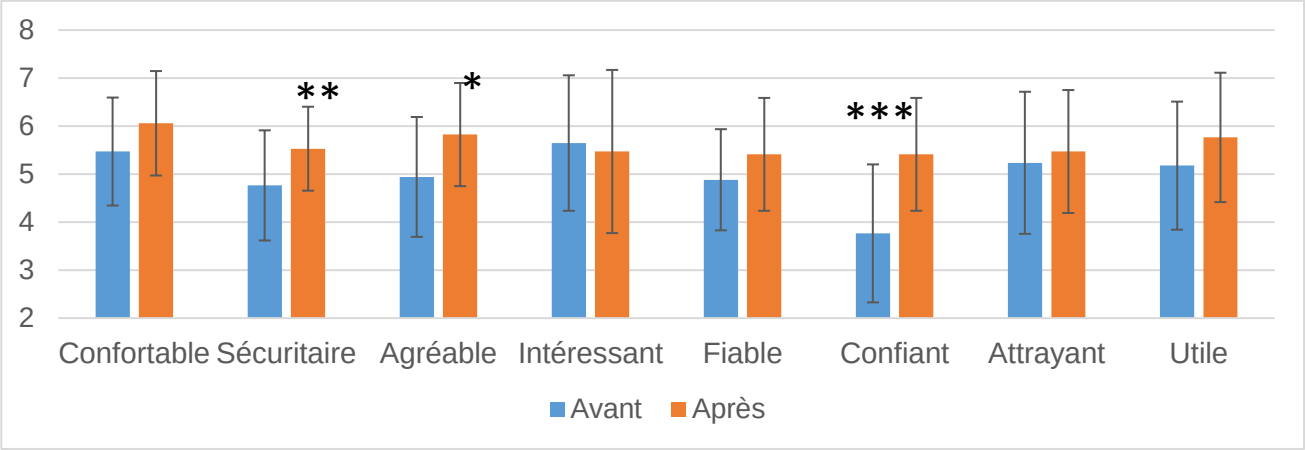



*Figure 8 : Réponses des 17 jeunes avant et après l'expérience en simulateur. Les étoiles correspondent à la significativité des évolutions entre les deux périodes (* p < 0.05, ** p < 0.01 et *** p < 0.001)*

*Source : (Lafont, Pilet, et al. 2021)*

De plus, l'effet de la tâche secondaire non liée à la conduite **semble avoir un impact significatif uniquement sur le temps minimal à la collision**, toujours d'après l'échantillon (16 personnes).

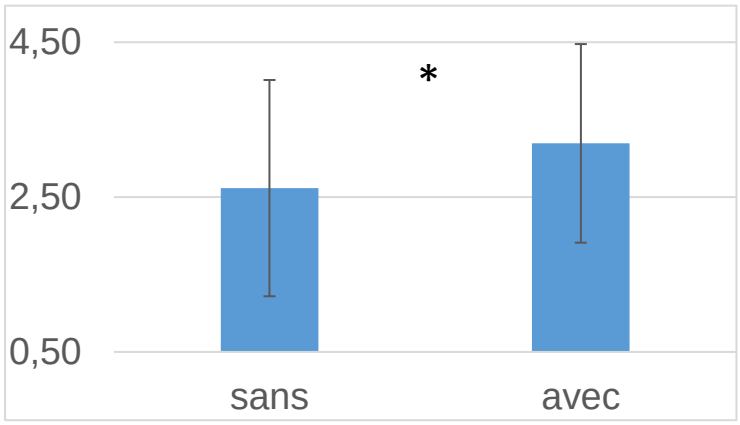



*Figure 9 : Temps minimum à la collision avec et sans tâche secondaire pour les 17 jeunes participants.*

*Source : (Lafont, Pilet, et al. 2021)*

Pour l'instant, **les résultats chez les jeunes montrent que l'expérience sur simulateur pourrait favoriser la confiance vis-à-vis du VA**. De plus, lorsque l'usager effectue une tâche autre que la conduite et qu'un obstacle est détecté, le changement de voie est réalisé plus tôt que pour la conduite manuelle. L'étude sur les personnes âgées doit permettre de confirmer ces hypothèses et d'analyser les stratégies compensatoires mises en place par les usagers pendant la reprise en main.

Pour conclure sur cette étude dont les résultats ne sont pas encore complets, il semble apparaître que la pratique en simulateur favorise l'acceptabilité et en partie le niveau de confiance. Ces résultats sont donc à confirmer mais permettent encore une fois **d'amener à réfléchir sur les besoins en formation, d'une part pour l'acceptabilité mais aussi pour l'amélioration des performances des conducteurs.**

### f. Un projet européen sur l'analyse des perceptions à travers les réseaux sociaux

Le projet Drive2theFuture, dont les résultats de l'acceptabilité ont été présentés dans la note bibliographique du dernier séminaire, a réalisé un livrable sur une analyse des perceptions du grand public sur le « véhicule autonome » sur les réseaux sociaux (Bakalos, Litke et Papadakis 2020). Cette étude permet de mieux comprendre l'acceptabilité de la mobilité automatisée.

Cette étude présente l'analyse des données récupérées sur trois réseaux sociaux : Twitter, Reddit et Youtube. Ces résultats ont été obtenus en utilisant des algorithmes d'analyse des ressentis basés sur un apprentissage profond. Le schéma de présentation inclut une classification des opinions avec des degrés de positivité ou de négativité.

Les objectifs sont ainsi de présenter le niveau de l'acceptabilité du grand public sur les réseaux sociaux concernant la mobilité automatisée et de déterminer les principales craintes partagées sur ces réseaux, qui contribuent à limiter l'acceptabilité.

**Méthodologie**

Le nombre de posts analysés sur Twitter s'élève à 24412. Dans cet échantillon, 1648 n'exprimaient pas d'opinion mais présentaient des produits ou d'autres contenus sans avis précis. L'analyse des contenus a été réalisée en supprimant les mentions et les liens à d'autres utilisateurs, les émojis ont été remplacé par leur nom clef et enfin, les tweets dont la longueur était inférieure à une phrase ont été supprimés pour des raisons de fiabilité.

Sur Reddit, 226 posts ont été analysés.

Sur Youtube, la sélection des commentaires a également été basée sur une reconnaissance de lexique, qui lui-même renvoyait vers un nombre de vidéos. Pour chaque terme, les experts ont analysé les commentaires des 100 vidéos les plus populaires. Uniquement les commentaires ont été analysés et non les réponses aux commentaires. La raison de ce choix est purement une question de méthodologie, car les réponses contenaient plus de données désordonnées/salissantes en raison de la tendance des réponses à se transformer en arguments et à contenir de nombreuses déclarations sophistes ou paralogiques.

Pour la présentation des résultats, six catégories ont été créées :

- Les opinions négatives (incluant les pires opinions exprimées)
- Les opinions plutôt négatives (incluant les posts dont l'opinion contenait une expression négative)
- Les opinions neutres (incluant les expressions sans position déclarée comme étant positive ou négative)
- Les opinions plutôt positives (incluant les posts dont l'opinion contenait une expression positive)
- Les opinions positives (incluant les meilleures opinions exprimées)
- Les posts non pertinents (dont le contenu n'exprimait pas d'avis sur la question).

**Résultats**

L'ensemble des réponses et des avis obtenus ont été classés selon ces six catégories. Les détails de vérification et de fiabilité des résultats ne sont pas présentés ici mais sont décrits dans le rapport associé (Bakalos, Litke et Papadakis 2020). Le graphique ci-dessous montre les résultats obtenus : il est intéressant de noter que la plupart des avis et des opinions exprimées sont neutres concernant la mobilité automatisée. De plus, les avis positifs sont plus nombreux en nombre que les avis négatifs.

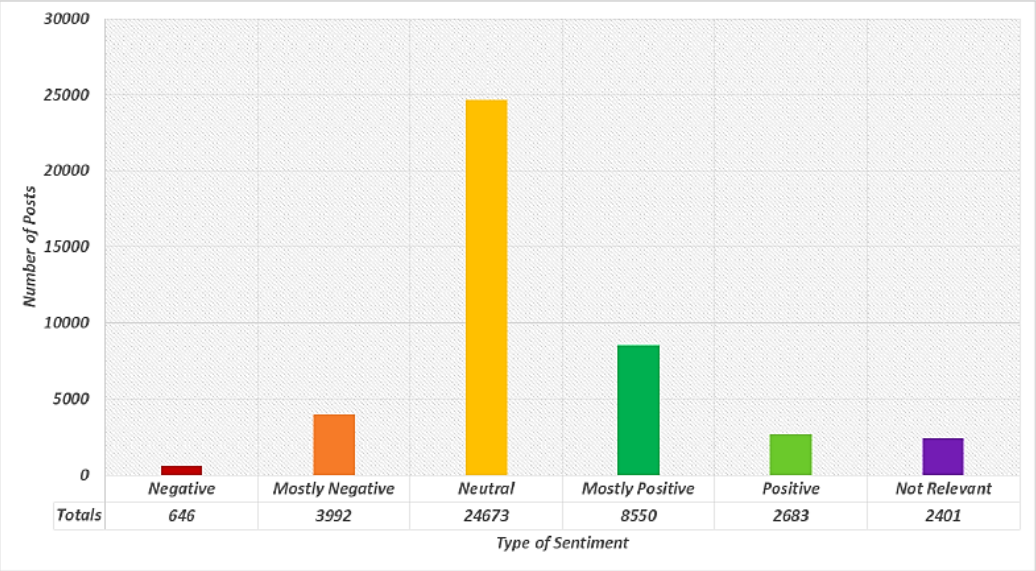



*Figure 10 : Résultats présentés par perception pour l'ensemble des posts analysés.*

*Source : (Bakalos, Litke et Papadakis 2020)*

Le graphique ci-dessous présente cette fois les résultats en tenant compte du réseau social dans lequel les posts ont été récupérés. Pour le réseau social Twitter, 58 % des opinions sont neutres, 26 % sont plutôt positives et enfin 10 % sont plutôt négatives. Sur Reddit, 35 % ont été classifiées comme positives, et seulement 9 % comme négatives. 52 % sont neutres, une tendance qui est comparable à Twitter. Ces résultats sont notamment dus au fait que la politique Reddit a une stratégie de contenu plus stricte que Twitter et Yotube. Enfin sur Youtube, 57 % des opinions sont neutres, contre 26 % de positives et 11 % de négatives.

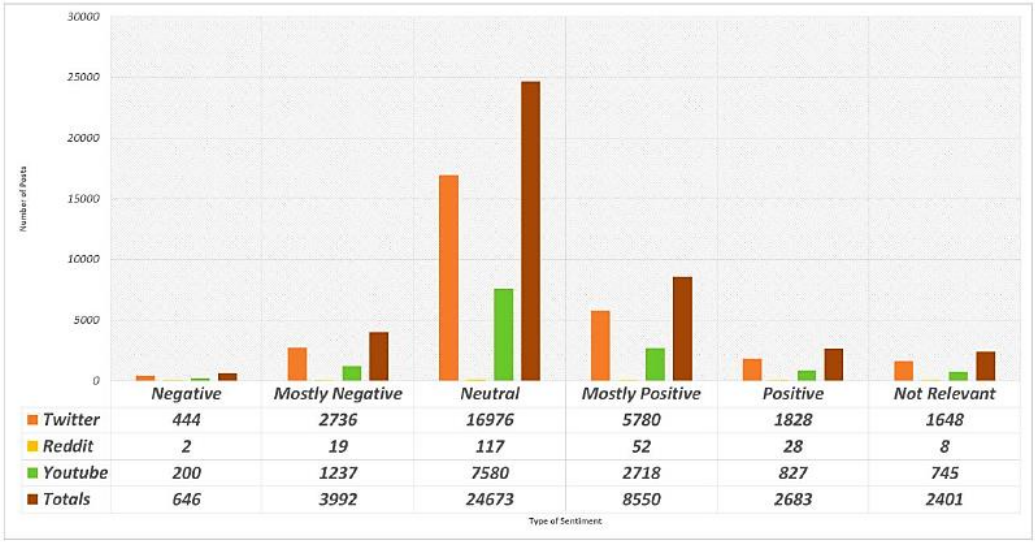



*Figure 11 : Résultats présentés pour tous les avis en fonction du réseau social.*

*Source : (Bakalos, Litke et Papadakis 2020)*

Enfin, la polarité des réponses est présentée sur le graphique ci-dessous. Une polarité négative indique que les opinions sont négatives et inversement une polarité positive est synonyme de réponses positives. Dans l'ensemble la densité d'opinions positives est supérieure à celle des opinions négatives.

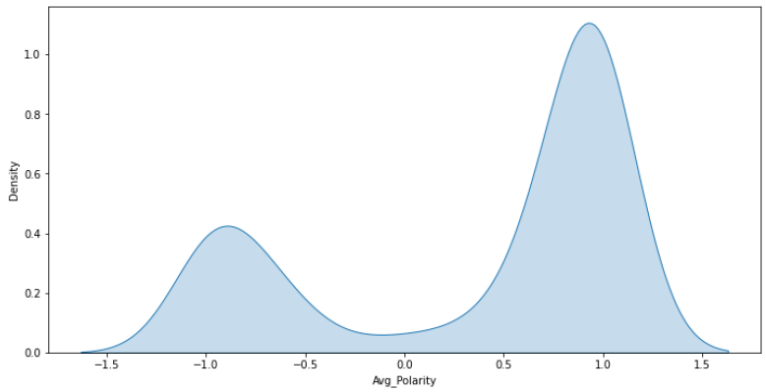



*Figure 12 : Polarité des opinions*

Source : *(Bakalos, Litke et Papadakis 2020)*

Afin d'aller plus loin qu'une analyse statistique des résultats, un algorithme a été mis en place pour détecter certains mots. Cette analyse vise à identifier les événements et les entités spécifiques qui sont des occurrences populaires dans chaque classe d'opinions. Pour rapporter les résultats, uniquement deux catégories ont été créées : les mots positifs et les mots négatifs. La catégorie neutre n'a pas été prise en compte. Au niveau des craintes des usagers identifiées, les principales ont concerné la sécurité (33 %) ainsi que les impacts sur les emplois (41 %). En particulier concernant les emplois, une augmentation de 10 % des posts a été identifiée.

Ainsi, cette étude a été réalisée pour recenser les opinions des usages à travers les réseaux sociaux. Les résultats montrent que certaines craintes persistent et en particulier concernant la technologie tandis qu'un intérêt plus prononcé sur les impacts liés à l'activité professionnelle. De manière générale, en ne comptons pas les opinions neutres des premières analyses, le niveau d'acceptabilité paraît élevé étant donné que le nombre de posts positifs surpasse le nombre de posts négatifs, bien qu'il reste encore 29 % d'opinions négatives.

Cette étude a été réalisée pendant la période de crise sanitaire, les résultats doivent ainsi être confirmés sur une période plus normale.

### g. PAsCAL, un projet global évaluant l'acceptabilité des usagers dans différents cas d'usage

Le projet PAsCAL, dont l'intitulé est *Enhance driver behaviour & Public Acceptance of Connected & Autonomous vehicles* fait partie du programme cadre H2020 et a pour objectif de contribuer à l'état de l'art sur l'acceptabilité des citoyens concernant les véhicules automatisées et connectés. La compréhension de leurs comportements et des leviers de l'acceptabilité est permise par des scénarios proposés aux usagers afin d'établir des liens entre acceptabilité et mise en situation. De plus, un objectif de formation est porté par ce projet en mesurant les conséquences et les impacts des mises en situation et de la familiarisation des citoyens avec ces véhicules.

Les résultats de ce projet sont nombreux en particulier sur l'acceptabilité, qui a été étudiée à partir de différents cas d'usage. Les perceptions ont été étudiées non seulement pour les usagers qui ont expérimenté ces technologies mais également pour les usagers extérieurs comme les piétons, qui ont côtoyé un véhicule automatisé dans un espace de circulation.

En parallèle de ces résultats, le projet contribue à proposer des recommandations sur l'intégration des attentes des usagers dans les politiques publiques et en particulier dans la construction des infrastructures et dans l'élaboration des stratégies de développement de ces mobilités automatisées. Un livrable a été publié sur ce volet mais n'est pas détaillé ici car le contenu sort de notre champ d'étude sur l'acceptabilité des usagers (Van Egmond, et al. 2021).

**Acceptabilité chez les acteurs de la mobilité automatisée et connectée**
Un article s'intéresse à l'acceptabilité chez les parties prenantes de cette technologie (Kacperski, Vogel et Kutzner, Ambivalence in stakeholders' views on connected and autonomous vehicles 2020).
Pour cette étude, **le recrutement des participants a été réalisé à partir d'email envoyés aux principaux acteurs de l'écosystème** parmi les branches suivantes : des académiques (A), des consultants et associations dans la mobilité (C), des constructeurs (O), des administrations publiques (G), des assureurs (I), des organisateurs de services (M) et enfin des personnes vulnérables sur les problèmes rencontrés par les populations handicapées (S). Ainsi 17 participants ont été recrutés, chacun avec au minimum 2 ans d'expertise dans leur domaine.

Les interviews se sont déroulées entre juillet et décembre 2019 par téléphone, chaque entretien ayant duré entre 30 et 90 min. Dans ce cadre, les participants ont été amenés à se présenter et à présenter leur point de vue sur la mobilité automatisée ainsi que leur expérience. Puis, le questionnaire leur a été soumis. Ce questionnaire a été conçu par deux experts à travers les domaines suivants : la vision sur les différents scénarios possibles, les usagers potentiellement concernés par l'arrivée des véhicules automatisée et enfin l'acceptabilité des solutions proposées à travers les différentes branches d'expertise.

Pour la vision des scénarios à venir, deux visions ont émergé :

- La plus commune est le **développement de la mobilité en tant que service (MaaS)**. Plus spécifiquement, les participants ont mentionné l'usage dans des zones fermées de petites navettes (aéroports notamment). La mobilité automatisée est susceptible d'améliorer l'offre en complétant le réseau de transport existant pour permettre une mobilité plus facile dans les villes.
- La deuxième vision plus traditionnelle est l'i**ntroduction des véhicules automatisés pour l'usage privé et particulier** avec tous les problèmes que ça pose dont l'effet rebond ou les conséquences environnementales. Les scénarios les plus probables dans cette approche sont tournés vers la circulation sur autoroute.

Sur les **conséquences de leur intégration dans la circulation**, six domaines ont été identifiés, ils sont répertoriés dans le tableau suivant avant les principales conséquences positives et négatives exprimées pendant les entretiens.

*Tableau 1 : Conséquences positives et négatives pour les six domaines identifiés*

*Source : (Kacperski, Vogel et Kutzner, Ambivalence in stakeholders' views on connected and autonomous vehicles 2020)*

| | Conséquences positives | Conséquences négatives |
|---|---|---|
| **Confort** | • Meilleure gestion du temps<br>• Conduite plus douce et moins stressante<br>• Bénéfices pour les services d'urgence qui pourront se rendre plus rapidement sur les lieux de l'accident/incident<br>• Réduction du temps perdu à chercher un stationnement | • Risque de perte de connexion<br>• L'expérience doit amener l'acceptation et réduire l'anxiété<br>• Durée de trajet plus longue en raison des recommandation de la réglementation européenne |
| **Sécurité** | • Diminuer le nombre de morts sur les routes<br>• Plus sûr que la conduite humaine<br>• Réduction des accidents où l'alcool est responsable<br>• Moins d'infractions en raison de la surveillance du conducteur | • Les conflits et les actes terroristes, plus généralement la cyber sécurité est mise en cause<br>• Défaillances potentielles du système |

| | | |
|---|---|---|
| **Inclusion sociale** | • Rendre les personnes mobiles à nouveau<br>• Permettre une meilleure inclusion des personnes à mobilité réduite (âgées, aveugles ou malvoyantes notamment) | • Problème de l'inclusion des personnes aveugles ou malvoyantes si elles ne sont pas en mesure de réagir aussi bien que des personnes lambda<br>• Problèmes potentiels de harcèlement sexuel bien que des caméras soient déployées |
| **Marché du travail** | • Réduction des coûts des conducteurs de bus | • Pertes d'emplois à prévoir et requalification à envisager |
| **Structurel** | • Désengorgement des villes<br>• Offrir des services de mobilité en zones peu denses<br>• Plus besoin d'espaces de stationnement dans les villes | • Effet rebond causé par des voitures vides sur les routes<br>• Les villes vont aussi perdre une forme de revenu aujourd'hui imputé au stationnement |
| **Environnement** | • Moins de consommation d'énergies, moins d'émissions en raison de la réduction de la congestion et des comportements plus fluide de conduite | • Report modal possible des transports en commun vers les véhicules particuliers<br>• Augmentation du nombre d'infrastructure nécessaire<br>• Obsolescence plus rapide en raison du nombre de km parcourus plus important<br>• Quantité de données très importante à traiter ce qui implique une consommation d'énergie accrue |

En ce qui concerne l'usage des véhicules automatisés, les usagers pressentis diffèrent selon le cas d'usage considéré. En effet, la **mobilité particulière est plus perçue pour les jeunes générations, peut-être plus masculines dans un premier temps, les plus éduquées et les plus aisées**. En ce qui concerne les transports publics, la différenciation sociodémographique sera certainement moins marquée. **Trois obstacles majeurs à l'utilisation ont été identifiés : la capacité/connaissance, l'opportunité et la motivation**, les populations vulnérables, les personnes de statut socio-économique inférieur et les propriétaires actuels de voitures étant respectivement les principaux représentants de chacun de ces obstacles.

Le **manque de connaissances a été évoqué comme un obstacle majeur à l'adoption pour les personnes âgées, et les personnes qui n'ont pas d'appétence pour les nouvelles technologies**. De plus, pour les aveugles, la confiance est une préoccupation majeure d'après les personnes interrogées : si l'information n'est pas suffisamment disponible et s'il n'y a pas de système de secours en place, les aveugles hésiteront à l'utiliser. En outre, **la vulgarisation de la technologie est un levier à son acceptation**.

**L'opportunité d'utiliser des véhicules automatisés est un obstacle qui a été principalement identifié pour les personnes ayant un statut socio-économique inférieur, l'argent étant un facteur déterminant**. Il est également possible que leur commercialisation commence par un modèle économique agressif dans la première phase, et que le prix augmente avec les services et le temps.

Au niveau des **motivations, les propriétaires de véhicules sont considérés comme le principal groupe cible.** Les personnes qui aiment conduire seront les plus difficiles à convaincre de changer et seront moins disposées à accepter les transports routiers automatisés parce que la vitesse de conduite sera réglementée, ou parce qu'elles craignent une perte de contrôle ; la perception d'une perte de liberté pourrait également réduire la motivation, car si les véhicules automatisés et connectés (VAC) sont à la demande, des changements dans les plans de déplacement sont nécessaires.

Outre les utilisateurs, **les intérêts d'autres personnes dans l'adoption ou la prévention des VAC ont été discutés, en tant qu'opportunité pour les entreprises de données et de covoiturage, et les institutions de transport public**. L'arrivée des VAC permettraient aux entreprises du secteur de limiter considérablement leurs frais notamment grâce à la réduction du nombre d'employés au poste de conducteur. Cependant, les associations des autres usagers de la route comme les piétons et les cyclistes, l'arrivée des VAC pose problème et notamment des conflits pour le partage de la voirie. En effet, avec leur arrivée, c'est l'industrie automobile qui pourrait être promue au détriment des autres usagers et notamment des modes de déplacement doux. Un frein à leur développement peut être cherché du côté des enjeux politiques, notamment par le fait que la voiture personnelle est souvent perçue comme moteur économique et soutien à la prospérité. De plus, le coût élevé au départ et les investissements liés à l'infrastructure peuvent présenter des freins à leur déploiement.

**Les résultats de cette étude montrent ainsi différents aspects du développement de la mobilité automatisée, aussi bien positifs que négatifs, il n'y a aujourd'hui pas de consensus, que ce soit d'un côté ou de l'autre**. Le travail a été une recherche scientifique, faite sur des cas d'usage spécifiques sur les véhicules automatisés, ce qui implique que **les conséquences et les usagers diffèrent selon le cas d'usage**.

**Les attentes ambivalentes et leur impact sur l'acceptation des véhicules automatisés**

Le travail présenté ci-après a été réalisé par les trois mêmes chercheurs afin d'évaluer les attentes concernant les conséquences de l'introduction des CAV sur le marché (Kacperski, Kutzner et Vogel 2021). Ces attentes pourraient expliquer en partie l'acceptabilité ; cependant, leur importance est pour l'instant mal comprise.

Pour cette étude, **529 participants ont été recrutés à partir d'un échantillon de professionnels du sujet dont 132 en France, 120 en Allemagne, 149 en Italie, 120 au Royaume-Unis** et 8 dans d'autres pays. Dans cet échantillon, 7 % n'avaient de permis de conduire et 17 % ne possédaient pas de véhicule. Parmi les participants, 6 ont indiqué avoir déjà utilisé un véhicule automatisé auparavant et 43 avoir déjà utilisé des systèmes d'aide à la conduite dont en majorité le contrôleur de vitesse.

Au niveau de l'analyse des données récupérées, le processus a été réalisé comme suit : la qualité statistique des données a été réalisée (pas décrite dans cette note mais disponible dans l'article (Kacperski, Kutzner et Vogel 2021)), une analyse des conséquences de l'intégration des VAC a été faite, une comparaison des résultats statistiques entre les pays a été établie, l'analyse confirmée des conséquences réalisée et enfin un modèle d'équation structurelle construit (non présenté ici également).

Les résultats font **apparaître 4 facteurs explicatifs de la variance totale à 74 % de l'acceptabilité des usagers dont 20 % pour la sécurité, 18 % pour les facteurs environnementaux, 21 % pour l'efficacité et 14 % concernant la propriété des données**. Cet article étant basé sur l'élaboration des critères de préférence déclarées des usagers, nous ne rentrons pas dans les détails des explications et des travaux.

En revanche, la présentation générale des résultats de l'acceptabilité montrent que **les intentions d'usage et l'acceptabilité générale du véhicule automatisé restent dans une évaluation plutôt moyenne, tandis que la facilité d'utilisation est plutôt perçue comme positive**. De plus, en moyenne, les participants pensent que les VA pourraient participer à améliorer le niveau de sécurité des routes, alors qu'ils sont généralement neutres concernant leur efficacité.

Les différences entre pays sont assez significatives. Ainsi, **les français et les allemands ont des plus faibles intentions d'usage comparé aux italiens**. Les mêmes résultats sont observés dans l'évaluation générale des VA, l'Allemagne et la France ayant des évaluations plus faibles. En termes d'évaluation sur le ressenti affectif, **les italiens ont une image plus positive que tous les autres pays interrogés**, les italiens envisagent des retombées plus positives que les trois autres pays.

De plus, une polarisation a été effectuée entre les participants des différents pays par rapport aux conséquences attendues. Les graphiques ci-dessous montrent les améliorations et les détériorations envisagées des aspects évalués. En particulier, les avis divergent concernant la sécurité avec plus de 49 % pour tous les pays qui attendent des améliorations et au moins 28 % une détérioration du niveau de sécurité. L'exception de l'Italie qui pense à seulement 19 % que les conditions de sécurité pourraient être dégradées. Concernant l'efficacité, plus de 25 % des pays attendent des améliorations et 30 % attendent une détérioration. Il existe une claire tendance à la propriété des données en France et en Allemagne avec deux tiers qui pensent que cet aspect sera pire avec l'intégration des véhicules automatisés sur les routes. De manière générale, très peu de répondants ont estimé que la propriété des données va s'améliorer. Enfin, en ce qui concerne l'environnement, 48 % au moins attendent une amélioration avec au maximum 22 % qui pensent que les conditions environnementales seront dégradées avec leur arrivée.

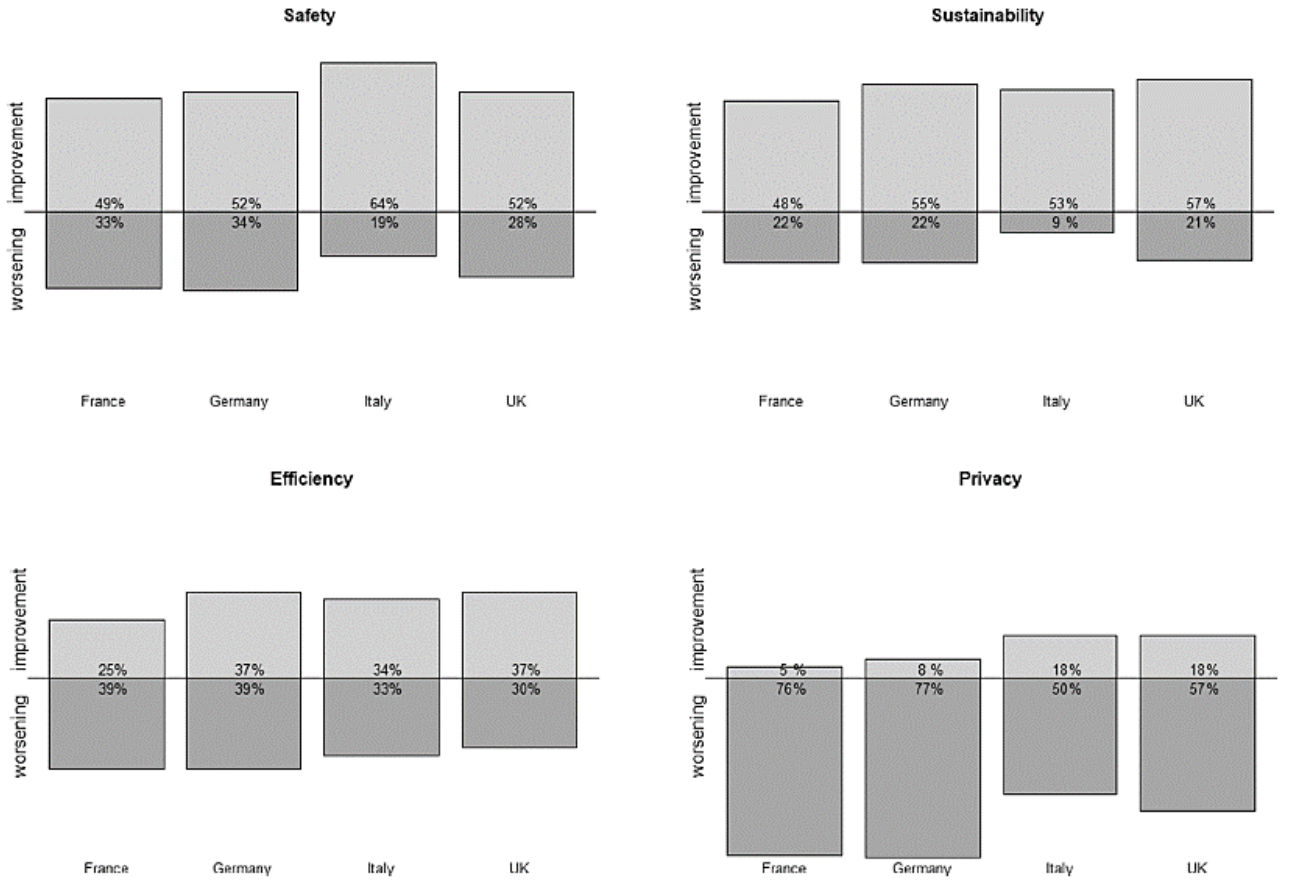



*Figure 13 : Graphiques présentant les résultats polarisés des réponses des répondants classés par pays pour les quatre facteurs significatifs identifiés*

Source : *(Kacperski, Kutzner et Vogel 2021)*

Etant donné que les véhicules automatisés sont en train de progresser et se développent, il est important de connaître ce qui impacte l'acceptabilité des usagers afin de concevoir des mobilités automatisées inclusives et respectueuses. La prise en compte des conséquences attendues chez les usagers va permettre de maximiser les impacts positifs de la recherche et l'acceptabilité. **Les résultats montrent que les participants sont pour l'instant réticents d'utiliser les VAC.** Cependant les résultats traduisent aussi des différences de considérations entre les quatre pays interrogés, les français et les allemands étant plus réticents que les britanniques et les italiens. **L'efficacité a été interprété comme le facteur le plus important pour les répondants.** Encore une fois et conformément à l'étude précédente, les résultats montrent que les opinions et l'acceptabilité ne font pas consensus.

*A titre de remarque, cet article est très complet en termes d'analyses statistiques. Tout n'a pas été détaillé ici car nous nous intéressons à l'acceptabilité des usagers plus qu'aux modèles utilisés, bien que les résultats soient interdépendants des analyses et des hypothèses prises. Face à la contrainte scientifique, le choix a été porté sur la méthodologie et la présentation des résultats plus que sur les analyses statistiques des résultats. Par ailleurs, cela ne signifie pas que la significativité ou que l'explicabilité des variables selon les analyses statistiques n'ont pas été prises en compte dans la présentation des résultats de cette note.*

### h. Le projet L3 Pilot

Le projet L3 Pilot s'est intéressé à l'évaluation de différents systèmes d'automatisation de la conduite (dispositifs de conduite conditionnelle) (Weber, et al. 2021). Trois cas d'usage ont été évalués :

- La conduite sur autoroute avec le *motorway chauffeur* et le *traffic jam chauffeur :* ces deux dispositifs permettent au véhicule d'exercer le contrôle dynamique du véhicule sur autoroute par activation du conducteur à des vitesses jusqu'à 130 km/h pour le premier et jusqu'à 60km/h pour le second. De plus, le véhicule est capable d'effectuer des changements de voie lorsqu'il est gêné par un véhicule plus lent sur sa voie.
- La conduite urbaine : le véhicule est ainsi capable de conduire dans un environnement urbain, de suivre sa voie et de réaliser les arrêts/redémarrage induits par l'environnement. Le véhicule est capable de reconnaître les usagers vulnérables et les priorités, même en cas de marquage non présent.
- Le stationnement automatique : le véhicule est capable d'effectuer les manœuvres de stationnement du conducteur, que ce soit dans un garage ou dans la circulation.

Les questions de recherche autour de l'acceptabilité des usagers s'organisent en différents aspects : le niveau de confiance des usagers en les systèmes, l'intention d'usage et à payer pour ces systèmes, les mesures de l'état de l'état du conducteur, la perception du risque, l'engagement des usagers dans des tâches secondaires, les comportements des usagers pendant et après les situations de reprise en main.

Les données qui ont permis de recueillir les réponses à ces questions ont été multiples : à la fois des questionnaires et des vidéos collectées sur les lieux des expérimentations sur les sites pilotes mais aussi grâce à des expérimentations supplémentaires en simulateur ou suivant les protocoles du magicien d'Oz[5] et enfin par le biais d'enquêtes à grande échelle à l'international.

Les procédures expérimentales des tests ne sont pas décrites dans les détails ici dans la mesure où l'impact de la mise en situation sur l'acceptabilité n'est pas l'objectif principal de cette partie. L'analyse de l'acceptabilité est ciblée sur la méthode de réalisation de l'enquête plus que sur la procédure des tests, bien qu'une analyse avant après puisse être réalisée et présentée. Finalement, ce qui nous intéresse ici est uniquement de voir une évolution significative de la mise en situation en générale plus que d'expliquer les causes directes par la mise en situation par les protocoles. De manière générale les procédures ont été les suivantes :

- Pour la conduite sur autoroute avec des conducteurs ordinaires pendant des périodes d'une heure à une heure et demie de 60 à 130 km/h dans des conditions environnementales plutôt claires (pluie à condition d'avoir une bonne luminosité par exemple). Les conducteurs ont été informés avant les phases de test sur les limites des systèmes et sur les reprises en main en sortie d'ODD ou en cas de demande du système. Tous les tests ont été réalisés en présence d'un expert de sécurité. L'exécution d'une tâche secondaire à la conduite a été évaluée dans certains cas mais pas dans toutes les études. Bien que les expérimentations aient été réalisées suivant les protocoles du magicien d'Oz, des conducteurs experts étaient présents sur le siège passager.

[5] Cette notion de magicien d'Oz est définie et explicitée dans la deuxième partie de cette note bibliographique sur information et formation du conducteur dans les travaux de (Sportillo 2019).

- Pour la conduite sur autoroute avec des conducteurs experts, elle a été déployée lorsque les conditions ne permettaient pas de faire réaliser les tests pas des conducteurs ordinaires sur certains sites pilotes. La conduite avec des professionnels a été aussi utilisée pour enregistrer des données de référence pour l'étude, sans avoir de situations d'urgence potentiellement.
- Pour la conduite urbaine, les conducteurs étaient professionnels. Les participants ont été passagers du véhicule uniquement. Leur rôle était d'observer l'environnement et les réactions du véhicule ; dans certains cas ils ont été autorisés à effectuer une tâche secondaire étant donné qu'ils n'étaient pas conducteurs. Différentes situations urbaines ont été confrontées (variété du trafic, variété des marquages, variété des usagers). La vitesse était limitée à 50 km/h. de même que sur autoroutes, les conditions environnementales n'ont pas été extrêmes. Les sites urbains ont été expérimentés à Bruxelles, Aix la Chapelle et Hambourg, ont duré entre 10 et 40 min pour parcourir entre 2 et 3 km.

**Méthode**

Pour extraire des informations sur l'acceptabilité des usagers, trois questionnaires ont été construits et déployés sur les sites pilotes : un par environnement avec des questions spécifiques au fonctionnement de chaque dispositif. Les réponses collectées sont donc fonction et dépendantes de l'environnement et de l'usage concerné. Le questionnaire a été construit en deux parties. La première administrée avant l'essai incluant des questions sociodémographiques, d'usage des véhicules, comportementales et modales. Cette partie a permis de construire des résultats de l'acceptabilité en fonction des typologies sociales obtenues. La deuxième partie du questionnaire a été administrée juste après le test. Il a consisté à recueillir les réactions directes des usagers, le confort et la sécurité perçue. Des questions sur les décisions et les usages du véhicule leur ont été posées afin de mesurer si cette expérience a eu un impact sur leur comportement. Enfin, lorsqu'une demande de reprise en main a été évaluée, les usagers ont dû qualifier la criticité de la reprise en main effectuée sur une échelle de 1 à 10 (1 étant « totale contrôlabilité » et 10 « incontrôlable »).

Finalement, les données de 354 conducteurs ont été récoltées à parti du questionnaire du site pilote autoroutier. Les données ont été séparées en trois groupes : les conducteurs professionnels (âgés en moyenne de 40 ans, 81 % d'hommes, 72 % avaient plus de 10 ans de permis et 44 % plus de 20000 km au compteur), les conducteurs ordinaires des sites pilotes (40 ans en moyenne, 72 % d'hommes, 82 % plus de 10 ans de permis et 23 % plus de 20000 km au compteur) et les répondants des questionnaires de simulateurs (39 ans en moyenne, 52 % d'hommes, 75 % plus de 10 ans de permis et 21 % plus de 20000 km au compteur). Sur le questionnaire du site pilote urbain, 175 participants ont été recensés dont 15 professionnels et 160 passagers (39 ans en moyenne et 78 % d'hommes, 74 % plus de 10 ans de permis et 23 % plus de 20000 km au compteur). Pour ce cas d'usage, aucun groupe n'a été formé. En ce qui concerne les données relatives au cas d'usage du stationnement automatique, les études ont été collectées sur trois études conduites sur trois sites différents. Les trois études ont été analysées séparément étant donné que les manœuvres effectuées et les environnements étaient très différents. Ainsi, la présentation des résultats a été réalisée de telle sorte que chaque étude compte pour un point.

Afin de mesurer l'acceptabilité des usagers à partir des données collectées, les questions ont été administrées en utilisant une échelle de 1 à 6 (1 étant « pas du tout d'accord » et 5 « totalement d'accord », 6 « sans avis »). De plus, certains aspects comportementaux ont été étudiés à partir de vidéos enregistrées pendant les tests. En particulier, les phases de transition ont été observées, à partir d'un code de procédure d'exploitation de ces vidéos.

**Résultats**

La présentation des résultats a donc été réalisée par usage. La discussion porte donc autour des données récupérées sur les sites pilotes autoroutiers, urbains et de stationnement automatisé.

**Cas d'usage autoroutier**
Les usagers ont été généralement positifs sur **l'intention d'usage du dispositif** (décrit précédemment) sur autoroute si celui-ci était présent dans le véhicule. 83 % des conducteurs professionnels ont répondu positivement ou très positivement à cette question, 95 % des conducteurs ordinaires et enfin 93 % des conducteurs testés en simulateur.

L'acceptabilité du dispositif a été évaluée à travers 12 questions sur les aspects suivants : la sécurité perçue, le confort perçu, l'utilité perçue, les performances du système.

En termes de **sécurité perçue**, la plupart des usagers ont été d'accord ou totalement d'accord avec l'affirmation « je me sens en sécurité lors de la conduite avec le système activé » (81 % chez les conducteurs professionnels, 86 % chez les conducteurs ordinaires des sites pilotes et enfin 88 % des conducteurs ordinaires en simulateur).

Sur le **contrôle perçu**, la plupart des participants ont jugé la conduite avec le système activé confortable (respectivement 83 %, 92 % et 97 %). Afin de mieux comprendre les aspects jugés les plus confortables, les participants ont dû évaluer huit comportements. Pour les conducteurs professionnels, la majorité (de 60 % à 78 %) a évalué la plupart de ces huit aspects comme confortables ou très confortables. En revanche concernant les portions d'échangeurs et de changement de voie, les avis ont été moins consensuels avec respectivement 30 % et 38 % d'avis positifs à très positifs. En ce qui concerne les conducteurs ordinaires des sites pilotes, la majorité (de 67 à 78 %) a évalué la plupart de ces huit aspects comme confortables ou très confortables également. Cependant, un nombre plus faible de participant s'est senti confortable avec les portions d'échangeurs à nouveau avec 10 % seulement d'avis positifs et 72 % d'avis non tranché (ne sait pas). Enfin, pour les conducteurs des simulateurs, la majorité (50 à 92 %) a évalué la plupart de ces huit aspects comme confortables ou très confortables, mais encore une fois, les portions des échangeurs sont évaluées comme moins confortables avec uniquement 23 % d'avis positifs et encore une fois 53 % d'avis non tranchés. En remarque, la forte proportion d'usagers ayant répondu « je ne sais pas » dans certaines situations peut être due au fait qu'ils n'aient jamais expérimentés le système dans ces situations spécifiques.

Pour évaluer **l'utilité perçue**, trois questions ont été posées aux usagers : 1. Recommanderiez-vous ce système aux autres ? ; 2. Utiliseriez-vous ce système dans votre vie de tous les jours (déplacements quotidiens) ? ; 3. Trouvez-vous le système utile ? Sur la première question, la plupart a été favorable ou très favorable avec 81 % des conducteurs professionnels, 85 % des conducteurs ordinaires sur les sites pilotes et enfin 83 % des conducteurs ordinaire sur simulateur. La deuxième question a également reçu des réponses favorables ou très favorables avec respectivement 62 %, 86% et 78 % des réponses positives chez les trois catégories de participants. Sur cette question, une plus faible proportion de professionnels a été d'accord, certainement car ce sont des usagers particulièrement avertis de la technologie et des limites du système. Enfin, sur la dernière question, 84 %, 94 % et 96 % respectivement ont été favorables à très favorables.

En termes de **confiance perçue**, la majorité des usagers a estimé avoir une bonne ou très bonne confiance du système (72 %, 86 % et 92 % respectivement pour chacun des groupes). Il a été intéressant de noter que la majorité des conducteurs professionnels a répondu positivement à la question « Voudriez-vous contrôler les performances du système ? » contre uniquement 47 % pour les conducteurs ordinaires des sites pilotes et 40 % en simulateur.

Enfin **l'évaluation des performances du système** a été réalisée par les usagers. 48 % et 31 % des conducteurs ayant testé le système sur les sites pilotes, respectivement les professionnels et les conducteurs ordinaires ont été d'accord sur le fait que le système se comporte parfois de manière inattendue. En revanche, les usagers ayant testé la simulation sont 8 % à avoir répondu positivement à cette question. De même, 48%, 76 % et 85 % ont trouvé que le système fonctionnait comme il devrait, respectivement. Ces résultats montrent que les conducteurs professionnels ont une confiance moins accrue que le reste des conducteurs qui ont testé le système car ils ont une connaissance plus élevée, de même que les conducteurs ayant testé le dispositif en situation réelle sont moins confiants que les conducteurs en simulateur.

Il a été également intéressant de noter que la plupart des usagers a déclaré qu'ils n'effectueraient pas des voyages plus nombreux s'ils avaient ces dispositifs dans leur véhicule personnel (53 %, 52 % et 60 % respectivement ont répondu négativement). De même, 57 % des professionnels ont révélé qu'ils n'effectueraient pas des trajets plus longs contre 42 % des conducteurs ordinaires des sites pilotes. D'un autres côté, 52 % des conducteurs ordinaires en simulateur ont déclaré qu'ils seraient susceptibles d'effectuer des trajets plus longs.

Au niveau des activités secondaires, 82 % des conducteurs ordinaires des sites pilotes et 98 % des conducteurs ordinaires en simulateur ont déclaré qu'ils pourraient réaliser une autre activité pendant l'activation du système alors qu'uniquement 41 % des conducteurs professionnels ont le même avis. Parmi les activités principales que les usagers seraient prêts à réaliser pendant la tâche de conduite, on retrouve écouter de la musique, la radio à (64 %), s'occuper de la navigation (63 %) et interagir avec les passagers (57 %). A l'inverse, les trois activités dans lesquelles ils ne souhaitent pas s'adonner sont dormir (83 %), regarder des films (74 %) et travailler (68 %).

D'autres résultats sur les conséquences du système sur le niveau d'attention des conducteurs et sur leur état ont été réalisées, mais dans le cadre de l'acceptabilité des usagers, nous avons décidé de ne pas détailler ces résultats dans la mesure où ils concernent plus la formation.

**Cas d'usage urbain**

La majorité des usagers répondent positivement ou très positivement à la question de l'utilisation du système si c'était leur véhicule personnel à 76 %, bien que ce niveau soit plus faible que pour le cas autoroutier.

Au niveau de **la sécurité perçue**, 79 % se sentent en sécurité lorsque le système est actif. 81 % des participants trouvent le **système confortable**. 65 % recommanderaient même ce système aux autres et 69 % sont prêts à l'utiliser dans leurs déplacements quotidiens. 66 % font **confiance** au système lors de la conduite mais 49 % s'accordent à dire que le système a parfois des réactions non prévues bien que 62 % trouvent qu'il se comporte comme il devrait. Enfin, 58 % sont d'accord pour dire que le système agi de manière appropriée dans toutes les situations rencontrées.

**Cas d'usage du stationnement automatisé**

La figure ci-dessous montre qu'à travers l'ensemble des études, la majorité des conducteurs se disent prêts à utiliser ce système de stationnement automatisé.

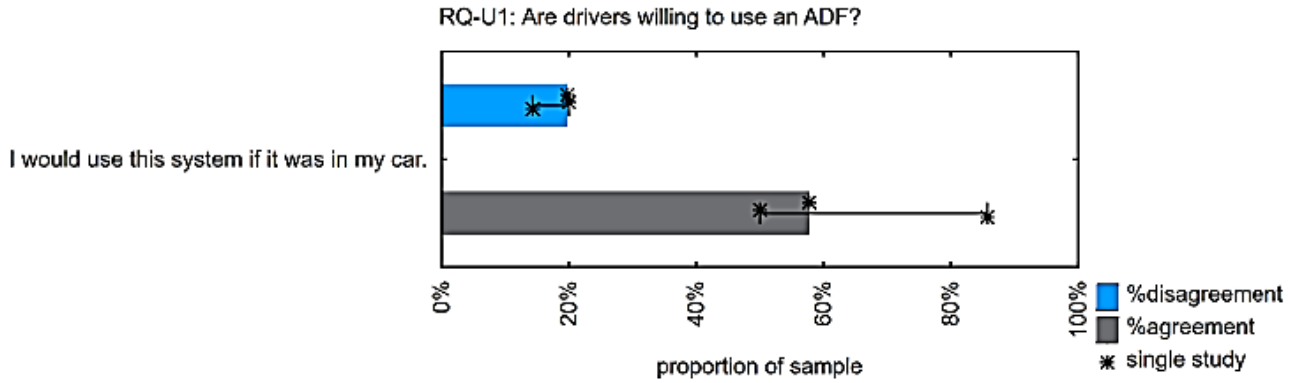



*Figure 14 : Proportion des conducteurs d'accord pour utiliser le système*

Source : *(Weber, et al. 2021)*

A travers les études, la majorité des conducteurs se sentent en sécurité dans un véhicule se stationnant en mode automatisé. Ils font confiance au système pour se stationner et trouvent le système utile, comme le montre la figure suivante.

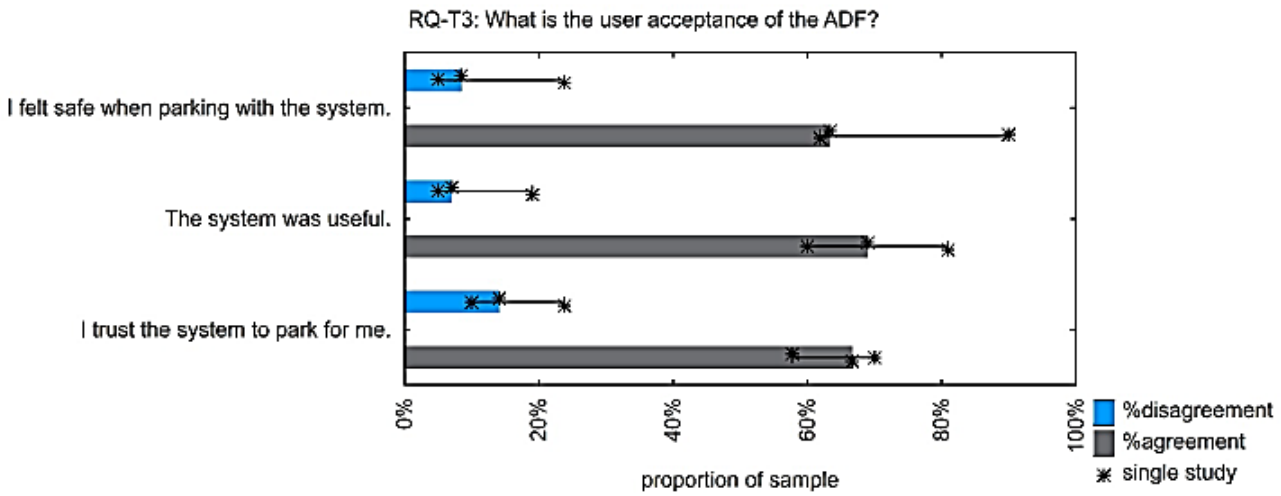



*Figure 15 : Acceptabilité des usagers pour le système de stationnement automatisé*

Source : *(Weber, et al. 2021)*

En conclusion, ce projet donne un état des lieux de l'acceptabilité des véhicules automatisés pour différents cas d'usage avec l'impact de la familiarisation et de l'expérimentation. Ces données ont vocation à alimenter la partie information et formation que nous détaillons en seconde partie mais dans la mesure où tous les travaux n'ont pas été terminés.

L'acceptabilité est donc dépendante des cas d'usage observés et les résultats montrent que le cas d'usage autoroutier a une acceptabilité plus forte que les autres cas d'usage, c'est le plus développé et l'environnement de circulation est plus majoritairement contrôlé.

### i. TRUSTONOMY – un autre projet européen

Ce projet s'inscrit dans le cadre de travail de Trustonomy financé par le programme cadre de l'Union européenne horizon 2020. Ce projet entend accroitre la sécurité, la confiance et l'acceptation des véhicules automatisés (Jamson et Hajiseyedjavadi 2021).

La confiance est un sujet central dans pour le développement et le déploiement des véhicules automatisés pour plusieurs raisons :

- Des systèmes avec des niveaux d'automatisation trop faibles ne convaincrons pas les futurs consommateurs. Et au contraire, des niveaux d'automatisation trop élevés pourraient encourager des abus.
- Il existe quatre couches de confiance que l'on peut mesurer : la **confiance sous-jacente**, la **confiance situationnelle**, la **confiance initiale** fondée sur l'expérience, la **confiance dynamique** (« ici et maintenant »)

**Méthode**

La méthodologie d'enquête de ce projet se fait en deux approches :

- Un **sondage en ligne** à grande échelle (4 pays) permettant de mesurer la confiance subjective des répondants :
  - Grande variété d'utilisateurs potentiels et des centaines de participants
  - Données démographiques
- Une **étude via simulateur** permettant de mesurer la confiance objective de la confiance des répondants :
  - Capture le comportement et la psychologie
  - 48 participants

Le sondage en ligne a pour objectif de définir les caractéristiques individuelles des répondants, d'analyser leur perception des véhicules automatisés et de la technologie en générale et enfin l'influence de la confiance sur leur comportement.

Ce sondage vise aussi à répondre aux 3 questions suivantes :

1. *Observe-t-on des différences de culture entre les quatre pays (France, Italie, Pologne, Royaume-Uni) ?*
2. *Les participants des différents pays sont-ils plus ou moins confiants (en général) que les autres ?*
3. *Les différents pays rapportent-ils des mesures similaires de la confiance comportementale dans les véhicules automatisés.*

**Résultats**

Premièrement, le questionnaire avait pour objectif d'observer les différences de culture entre les quatre pays. Pour cela, le questionnaire a distingué quatre caractéristique :

- **Culture Individuelle** : les objectifs personnels prennent priorité sur les objectifs de groupe
- **Culture Collective** : les objectifs du groupe ont la priorité sur des objectifs personnels
- **Hiérarchie Verticale** : le rang ou le statut social sont jugés comme importants
- **Hiérarchie Horizontale** : égalité des membres peu importe le statut.

Les résultats montrent plusieurs informations :

- Les italiens semblent plus tournés vers une culture Horizontale et Collective que tous les autres pays. Ils semblent donc plus orientés vers les notions d'égalité et de réussite de groupe.
- Les polonais semblent plus tournés vers une culture Verticale et Individuelle que les français ou les britanniques. Ils semblent donc plus orientés vers les notions d'individualisme et de réussite personnelle.

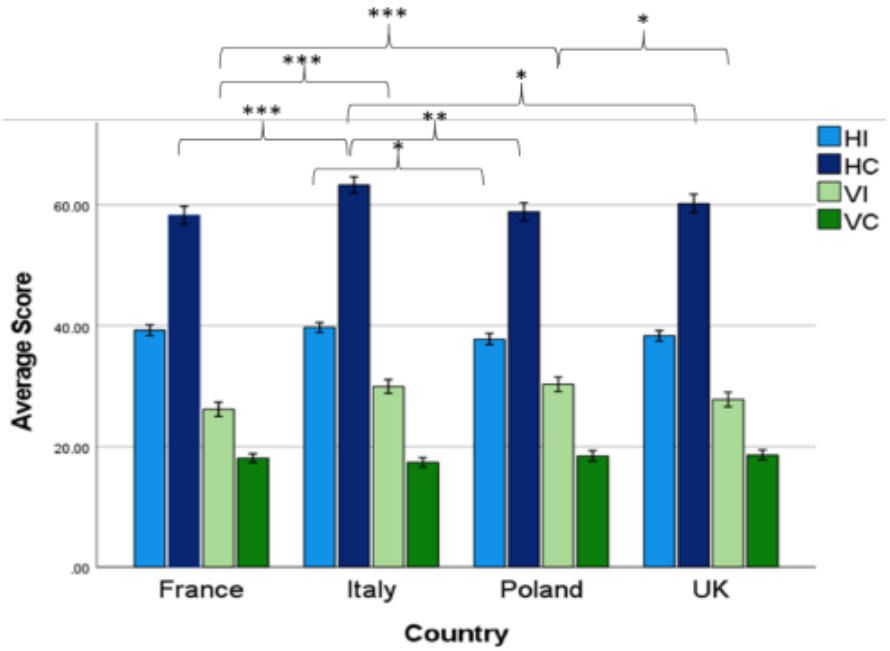



*Figure 16 : Comparaison des cultures entre pays*

Source : *(Jamson et Hajiseyedjavadi 2021)*

Deuxièmement, le questionnaire avait pour objectif de mesure la confiance et les différences de confiance entre les répondants des quatre pays. Les résultats ont montré un effet significatif sur la propension à faire confiance des pays. La comparaison entre les pays montre que le Royaume-Uni a nettement plus de propension à la confiance par rapport à l'Italie et la Pologne.

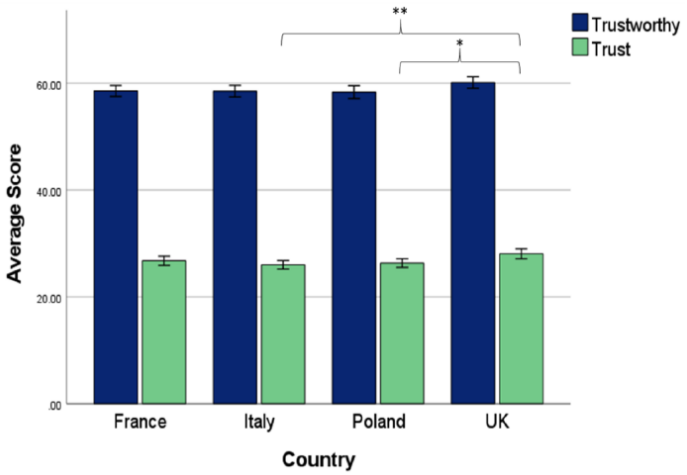



*Figure 17 : Comparaison de la confiance des répondants entre pays*

Source : *(Jamson et Hajiseyedjavadi 2021)*

Enfin, la troisième question visait à mesurer et comparer la confiance comportementale des répondants. Les résultats montrent une confiance plus élevé pour les hommes que pour les femmes. Et les répondants semblent les moins en confiance vis-à-vis des véhicules automatisés en comparaison des trois autres pays.

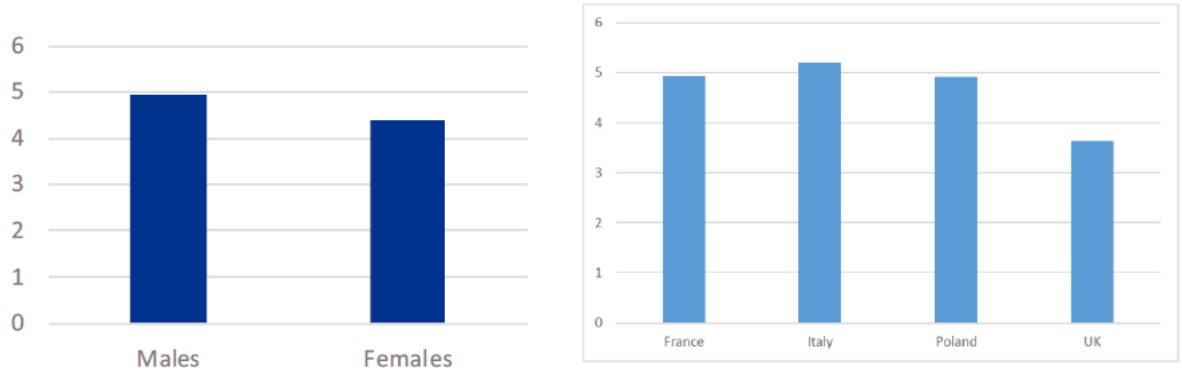



*Figure 18 : Comparaison de la confiance entre pays*

*Source : (Jamson et Hajiseyedjavadi 2021)*

La dernière partie de cette revue de littérature sur l'acceptabilité du VA s'intéresse à quelques publications scientifiques récentes qui permettent de compléter à une échelle plus locale, les travaux réalisés sur l'acceptabilité.

## *3.* Articles académiques récents

La littérature académique dont il est question dans cette note bibliographique est un état des lieux des travaux publiés entre depuis juin 2021 en majorité. Elle se base essentiellement sur l'acceptabilité globale des usagers, avec un focus sur les intentions à payer. Par ailleurs, les enquêtes de préférences déclarées ne figurent pas dans ce dossier car c'est l'objet d'un focus bibliographique associé à cette bibliographie, réalisé par le Laboratoire d'aménagement et d'économie des transports (LAET) de l'Ecole nationale des travaux publics de l'Etat (ENTPE).

### j. Revues de littérature de l'acceptabilité

Ce paragraphe décrit des travaux sur l'acceptabilité d'ensemble des usagers sans prendre un focus précis sur une des thématiques comme l'impact sur la sécurité, le coût ou encore l'impact environnemental. Les deux revues de littérature présentées ci-après permettent de faire un état des lieux des recherches et des principaux facteurs identifiés dans la littérature. Tous les facteurs identifiés ne sont pas toujours explicatifs et consensuels.

La littérature académique s'accorde maintenant à travailler plus précisément sur des modèles statistiques d'évaluation des facteurs de l'acceptabilité plutôt que sur la réalisation d'enquêtes acceptabilité pures comme c'était le cas dans les notes bibliographiques précédentes. Ces deux revues permettent notamment d'introduire cette évolution.

De nombreux pilotes de navettes automatisées ont vu le jour, néanmoins la question des besoins et des attentes des utilisateurs vis-à-vis de cette nouvelle technologie reste en suspens. Dans le but de répondre à cette question, les auteurs de cet article ont réalisé une revue de littérature (Pigeon, Paire-Ficout et Alauzet 2021). Cette revue de littérature a permis **d'identifier 39 documents abordant 70 facteurs d'acceptabilité, d'acceptation et d'utilisation des véhicules de transport public automatisés non ferroviaires.**

**Méthodologie**
Dans cet article, les auteurs font la distinction entre **l'acceptabilité** (*acceptability*) et **l'acceptation** (*acceptance*), notion déjà introduite dans les dernières notes bibliographiques. Ici **l'acceptabilité** renvoie à un jugement hypothétique des utilisateurs potentiels envers une technologie à introduire dans le futur (les navettes/systèmes automatisées de transport public, type STPA). C'est donc un jugement hypothétique sur une nouvelle technologie qui n'a pas été expérimentée. **L'acceptation** correspond aux jugements, attitudes et réactions comportementales des utilisateurs potentiels envers un produit après l'avoir essayé. Les utilisateurs potentiels ont une expérience de l'objet technologique dans un contexte expérimental, mais ne l'ont pas utilisé régulièrement ou spontanément. Enfin un dernier concept va être utilisé par les auteurs : **l'usage**. **L'usage** d'une technologie désigne l'appropriation de cette technologie par les utilisateurs après son introduction dans leur vie quotidienne. Dans ce cas, la technologie est disponible et les gens choisissent de l'utiliser.

Ces définitions peuvent différer quelque peu des définitions précédemment transmises dans les dernières revues de littérature entre acceptabilité a priori, acceptabilité et acceptation. Dans cet article, les définitions à prendre en compte sont donc bien celles décrites plus haut.

Cet article se concentre sur les véhicules non ferroviaires, qui peuvent fonctionner en mode automatisé sur des tronçons de route limités (conduite hautement automatisée) ou qui peuvent fonctionner en mode automatisé sur toutes les routes accessibles au public (conduite totalement automatisée). Ce sont donc des systèmes ou véhicules de transport public automatisé (STPA).

La recherche bibliographique comprend des études publiées entre 1999 et 2019. Un total de 39 études a été retenu. Ces 39 études ont été décrites selon leur le type de véhicule impliqué (navette automatisée, ou plus généralement système de transport public automatisé (STPA)), les méthodes utilisées (quantitatives, qualitatives ou mixtes) et leur orientation (acceptabilité, acceptation ou usage). Ensuite tous les facteurs

d'acceptabilité, d'acceptation et d'usage étudiés dans ces études ont été extraits et classés. Les 39 documents retenus était composé de 19 publication de revues, 16 actes de conférences, deux mémoires de maîtrise, une thèse de doctorat et un rapport. 30 études ont porté sur les navettes automatisées, 4 sur les bus et 5 sur les STPA en général.

**Résultats niveau mésoscopique**

La revue bibliographique a permis de mettre en lumière certaines tendances et facteurs combinés influençant l'acceptabilité, l'acceptation et l'usage des VA au niveau mésoscopique. Un aperçu de ces résultats est donné ici :

- Un modèle basé sur des analyses factorielles, indique que **l'attitude envers les transports publics (bénéfices environnementaux et leur efficacité) est un prédicteur pertinent de l'intention d'usage** des STPA. D'autres facteurs tel que les attitudes envers l'écologie et la technologie, le contrôle du comportement sont des prédicteurs de l'intention d'utiliser des STPA.
- Une étude a déterminé que **55 % de la variance de l'intention d'utiliser une navette automatisée était expliquée par l'utilité perçue, l'influence sociale, le plaisir perçu et l'expérience antérieure.**
- Une étude basée sur le modèle UTAUT (*Unified Theory of Acceptance and Use of technology*) a montré que les variables d'espérance de performance, d'influence sociale et d'espérance d'effort étaient des prédicteurs de l'intention d'usage des navettes automatisées. Néanmoins ces facteurs représentent uniquement 22 % de la variance, d'autres variables ont donc une influence non négligeable. De plus, l'âge, le sexe et l'exposition à la technologie ne se sont pas révélés être des variables modératrices de l'intention d'utiliser des navettes automatisées.

Cette revue de littérature a permis d'extraire 70 facteurs différents d'acceptabilité, acceptation et d'usage des STPA. Ces 70 facteurs ont été classés sur la base d'un modèle multi-niveaux sur l'acceptation automatisée des véhicules (MAVA). Ces facteurs ont été classés à l'aide de trois thèmes : exposition aux véhicules automatisé ; évaluation du système spécifique au domaine ; évaluation du système symbolique affectif.

**Exposition aux véhicules automatisés :**

- L'exposition aux VA peut avoir des impacts significatifs sur la volonté d'utiliser des STPA. Une étude a montré que **l'expérience antérieure de VA a suscité une volonté d'utiliser des STPA à l'avenir**, a renforcé le sentiment que les navettes automatisées sont sûres et a augmenté la probabilité de choisir une navette automatisée sur plusieurs autres moyens de transport. De même, une expérience antérieure des STPA sur des pistes d'essai peut avoir un impact positif.
- Les utilisateurs fréquents de navettes automatisées ont une attitude plus positive envers VA que les non-utilisateurs. Ils ont également une plus grande préférence pour l'automatisation complète
- Un article montre que voyager sur une navette automatisée améliorerait la facilité d'utilisation perçue, la confiance et l'attitude envers le véhicule, mais ne modifierait pas son utilité perçue ou son intention d'utiliser.
- Un autre article montre que la **volonté d'utiliser les STPA, la perception du contrôle et de l'utilité du véhicule a augmenté après avoir voyagé en navette automatisée.**
- Une connaissance préalable des VA augmente la probabilité d'être disposé à utiliser un bus automatisé.
- Les personnes qui n'avaient jamais entendu parler des navettes automatisées étaient plus préoccupées par l'interaction de ces véhicules avec les autres usagers de la route et percevaient les STPA comme étant plus difficiles à comprendre que les personnes ayant une expérience antérieure avec des VA.

En résumé, l'exposition aux VA a un effet sur l'acceptation et cela dépend si la connaissance et l'expérience par rapport au STPA ont été positives ou négatives.

**Evaluation du système spécifique au domaine :**

- **Performances et espérances d'effort :** Les performances attendues et les espérances d'effort des STPA sont des facteurs importants dans leur acceptation. Des performances attendues élevées des futurs utilisateurs encouragent l'intention d'utiliser des STPA.
    - La perception que les navettes automatisées sont utiles et plus efficaces que les modes de transport actuels augmente également l'intention de les utiliser.
    - Lorsque l'effort attendu pour l'utilisation d'une navette automatisée est inférieur à celui des autres moyens de transport actuels, la volonté d'utiliser les STPA pour les déplacements quotidiens augmente.

- **Sécurité :** Les facteurs de sécurité englobent tous les problèmes liés à la sécurité routière, aux difficultés introduites par l'absence de conducteur, peur des agressions et confidentialité des données. Il en ressort que les craintes et les préoccupations concernant l'automatisation influencent négativement l'attitude envers les STPA.
    - Les utilisateurs potentiels exigent la protection des données personnelles.
    - Une étude a constaté que l'absence de conducteur suscitait des inquiétudes concernant l'assistance aux personnes handicapées et l'accès à l'information.
    - Des recommandations ont été proposées par les utilisateurs pour améliorer la sécurité : la présence de ceintures de sécurité ; de sièges de sécurité pour enfants ; l'interdiction de se tenir debout à l'intérieur du véhicule comme moyens de prévention liée au freinage brusque des navettes.

- **Caractéristiques des services :** Les services à haute fréquence et ceux avec des temps d'attente courts apparaissent comme des facteurs positifs pour l'acceptabilité ou l'acceptation des STPA. Lorsque le temps de trajet est plus court, une navette automatisée est plus susceptible d'être choisie par rapport à un véhicule manuel équivalent.
    - Des études ont indiqué que **l'attractivité des STPA peut être améliorée lorsque les tarifs sont inférieurs à ceux des autres moyens de transport**. Cependant, 54 % des personnes interrogées dans une autre étude étaient prêtes à payer le même prix pour un bus automatisé que pour un bus classique, et 22 % des personnes interrogées étaient prêtes à payer 0,50 € de plus.
    - Certaines études ont abordé l'importance de l'intégration des véhicules automatisés dans l'offre de transport public classique, et de l'intermodalité avec d'autres moyens de transport.
    - Certaines études ont montré que les informations de voyage et la fiabilité du service étaient des exigences des utilisateurs et des utilisateurs potentiels.
    - La flexibilité de service a été identifiée comme un facteur positif d'intention d'utiliser une navette automatisée.

- **Caractéristiques du véhicule :** La question de la vitesse des VA est un sujet central avec des réponses assez contrastées en fonction des études. La faible vitesse a été associée à une appréciation négative des véhicules automatisés dans un certain nombre d'études. De même, un freinage brusque et fréquent a été évalué négativement dans certaines études.
    - Les facteurs de confort du véhicule ont été mentionnés dans plusieurs études. L'accès gratuit à Internet à bord du véhicule a été perçu positivement dans trois études. Une étude a montré que pour **les participants ayant essayé une navette automatisée, la présence d'une voix humanoïde diminuait leur volonté d'utiliser le véhicule, son utilité perçue, son influence sociale et leur plaisir perçu**. La taille des véhicules est aussi un facteur influençant l'acceptabilité des STPA. Ils doivent être suffisamment grands et avec de la place pour les personnes à mobilité réduites, les poussettes et les bagages.

- Quatre études ont mis en évidence l'intérêt pour les utilisateurs de disposer d'un moyen de contrôle manuel du véhicule.
- Concernant le niveau d'automatisation, les participants à une étude ont préféré les bus traditionnels, ou les bus avec un faible niveau d'automatisation aux bus entièrement automatisés.

**Evaluation du système symbolique affectif :**

- Cette évaluation s'intéresse à la manière dont l'influence sociale et le plaisir perçu peuvent jouer un rôle dans l'acceptation des véhicules automatisés. Des études sur l'influence sociale ont indiqué que l'intention d'un individu d'utiliser une navette automatisée est affectée par l'opinion de proches importants ou de personnes vivant dans la même région.
- Deux études montrent que le plaisir perçu était positivement associé à l'intention d'utiliser une navette automatisée. D'autres études confirment ce résultat, avec un plaisir perçu associé à une attitude positive envers les navettes automatisés et l'intention de les utiliser.

**Résultats au niveau micro**

Après avoir présenté les différents facteurs influençant l'acceptabilité, l'acceptation, et l'usage des individus au niveau macro/méso, les prochains résultats présentent les facteurs d'acceptabilité, d'acceptation et d'usage au niveau micro.

Ces facteurs peuvent être classés en trois catégories : facteurs sociodémographiques ; facteurs comportementaux liés aux déplacements ; facteurs de personnalité.

**Facteurs sociodémographiques :**

Tout d'abord, l'analyse bibliographique n'a pas pu déterminer l'influence de l'**âge** sur l'acceptabilité des véhicules automatisés. Plusieurs études n'ont trouvé aucun effet significatif de l'âge sur la volonté d'utiliser une navette automatisée, sur la probabilité de choisir une navette automatisée plutôt qu'un autre moyen de transport, sur le sentiment de sécurité à bord du véhicule, la sécurité routière, la gestion des urgences ou sur la confiance globale dans les navettes automatisées.

Néanmoins, d'autres études montrent une acceptation plus élevée chez les jeune et une corrélation négative entre l'âge et une attitude positive envers la technologie, l'intention d'utiliser des STPA. Une étude a révélé que les participants âgés de 18 à 35 ans étaient plus disposés à utiliser un bus automatisé que ceux âgés de 45 ou plus. Cependant dans une autre étude l'acceptation d'une navette automatisée était plus élevée chez les participants plus âgés que chez les plus jeunes.

L'effet du **genre** ne fait pas non plus consensus dans la littérature scientifique. Plusieurs études ont montré que les hommes sont plus disposés à utiliser un bus automatisé et font plus confiance aux navettes automatisées que les femmes. Cependant, d'autres études n'ont pas trouvé de différences significatives entre la volonté des hommes et des femmes d'utiliser une navette automatisée ou les STPA en général.

Une étude a montré qu'un **niveau d'éducation** élevé était associée positivement à une préférence pour les navettes automatisées par rapport au navettes traditionnelles dans trois des douze villes interrogées.

Concernant le **niveau de vie** des utilisateurs, une étude n'a pas trouvé d'effet du **revenu** sur la préférence pour les navettes automatisées par rapport aux navettes traditionnelles, sur l'intention d'utiliser une navette automatisée et sur les sentiments sur la sécurité routière. Néanmoins, une autre étude a relevé une volonté plus importante d'utiliser un bus automatisé pour les individus avec de hauts revenus.

Dans deux études, le type d'**emploi** des individus n'a pas eu d'effet sur la préférence pour les navettes automatisées par rapport aux navettes traditionnelles. Dans une autre étude, seuls les étudiants se sont avérés être des utilisateurs plus réguliers des navettes automatisées que les salariés, chômeurs ou retraités.

Au sujet du **lieu de résidence**, plusieurs informations sont disponibles. Une étude a montré que les personnes vivant en Inde étaient plus disposées à laisser leurs enfants utiliser un bus automatisé que des résidents américains. Une autre étude n'a pas trouvé de différence entre des résidents de La Rochelle (France) et de Lausanne (Suisse). Une étude n'a pas trouvé de différence entre des allemands vivant en zone rurale et des allemands vivant en zone urbaine. La confiance et la volonté d'utiliser une navette automatisée se sont avérées plus importantes chez les participants vivant dans des régions où des services de navettes automatisées avaient été mis en place que dans des régions où aucune navette n'était en service.

**Facteurs de comportement liés aux déplacements**
Plusieurs études ont évalué les facteurs de comportement liés aux déplacements tels que les habitudes de déplacement, le but du déplacement et les attitudes à l'égard de l'utilisation des transports publics.

Selon une étude, les transports automatisés à **horaires fixes** semblent être mieux acceptés pour des déplacements fixes (travail, études) que pour des déplacements flexibles (loisirs). Néanmoins dans une autre étude, 46 % des répondants ont déclaré qu'ils étaient prêts à utiliser une navette automatisée pour les déplacements de loisirs, et seulement 41 % pour les déplacements d'affaires.

Une **attitude positive** envers les transports en commun s'est avérée associée à une volonté d'utiliser les STPA, et en particulier les navettes automatisées.

Concernant **les habitudes de déplacement**, une étude a montré que les automobilistes et les usagers des transports publics pourraient être plus disposés à modifier leurs habitudes de déplacement pour utiliser les transports automatisés pour se rendre au travail par rapport aux piétons et aux utilisateurs de vélos. Cependant, d'autres études ne révèlent aucun effet de l'utilisation actuelle d'une voiture ou des transports en commun par un individu sur sa volonté d'utiliser des STPA.

**Facteurs de personnalité**
Un niveau élevé de **confiance** dans les véhicules automatisés s'est avéré être un facteur dans le choix d'une navette automatisée par rapport à un bus traditionnel. Les attitudes envers la technologie se sont avérées positivement associées à l'utilité perçue des STPA. De plus, de nombreuses études ont observé que l'intérêt pour la technologie est un facteur d'acceptation des VA.

L'effet des valeurs écologiques des individus ne fait pas consensus dans la littérature. Une étude a montré que les valeurs écologiques ne sont pas des prédicteurs de l'intention d'utiliser une navette automatisée ni à l'utilité perçue. Mais une autre étude a montré que les valeurs écologiques étaient associées positivement à l'intention d'utiliser des STPA.

Cet article fournit une revue assez exhaustive des facteurs d'acceptabilité, d'acceptation et d'utilisation des systèmes de transport public automatisés. Il en ressort que la première étape d'exposition aux VA représente une étape cruciale vers la formation d'une attitude favorable ou défavorable envers les VA. Cela peut influencer grandement l'intention et la décision d'adopter ou d'utiliser des véhicules automatisés dans l'avenir.

De nombreux autres facteurs d'acceptabilité ont été présenté dans cette étude. Ces facteurs sont principalement liés à la manière dont les STPA pourraient améliorer les services de mobilité. Les facteurs liés au confort et à l'accessibilité des véhicules semblent moins centraux, mais les résultats sur ceux-ci peuvent être dus au fait que les échantillons étudiés ne sont pas toujours représentatifs, et n'incluent pas les profils de tous les utilisateurs potentiels.

L'une des limites de cet article est que la majorité des études examinées ici consistent en des enquêtes menées auprès de répondants qui n'avaient jamais utilisé de STPA. Les résultats sont donc basés sur des jugements hypothétiques plutôt que sur des avis réels, ce qui limite donc leur généralisation.

Il semble primordial de **ne pas exposer le public à des implémentations pilotes avec une expérience négative**, notamment concernant les comportements de freinage. Ces pilotes doivent proposer des systèmes utiles et confortables. Des équipements de sécurité, tels que des ceintures de sécurité, de la vidéosurveillance ou un moyen de faire face aux urgences (type bouton d'urgence) pourraient également être mis à disposition.

Les **utilisateurs potentiels ont également besoin d'un moyen de compenser l'absence de conducteur**, par exemple des écrans d'information et un accès facile et sans obstacle au véhicule.

D'autres facteurs ont été évoqués dans cette revue de la littérature qui méritent **des études plus approfondies pour quantifier correctement leur impact sur l'acceptation.** Ces facteurs concernent globalement les caractéristiques du véhicules (apparence, climatisation, propreté, accès du véhicule) et les facteurs personnels.

Enfin, les besoins et les **attentes des personnes âgées et des personnes handicapées sont encore trop peu évoquées et mériteraient d'autres études supplémentaires.**

Par ailleurs et en complément du premier article présenté ci-dessus (Pigeon, Paire-Ficout et Alauzet 2021), l'article ci-dessous livre un état de l'art sur l'acceptation par les utilisateurs de véhicules automatisés (Kaye, et al. 2021). Plusieurs études traitant de l'acceptation des véhicules automatisés (de niveau 3 à 5) ont été analysées. L'acceptation a été définie comme les attitudes ou les intentions et/ou la volonté des individus d'utiliser les véhicules automatisés à l'avenir. **Trente-cinq articles ont été inclus dans cette revue.**

**Méthode**
Les travaux sélectionnés dans cette étude proviennent d'une des trois bases suivantes : APA PsycINFO, *Transport Research International Documentation* (TRID) et Web of Science. **Plus de 2354 articles ont été identifiés lors des recherches dans ces trois bases de données**. Les articles devaient être rédigés en anglais, disponibles en texte intégral et axés sur l'acceptabilité des VA pour les niveaux 3 à 5. Les articles axés sur la volonté à payer ont été exclus.

Finalement **35 articles ont été retenus pour cette étude**. L'échantillon total des 35 articles était de **29193 participants**, dont 45,5% de femmes, avec des participants **d'Amérique du Nord, d'Europe, de Chine, de Corée du Sud et d'Australie**. La majorité des études a utilisé un questionnaire d'auto-évaluation, certaines études ont aussi mis en place des entretiens et un petit nombre d'entre elles ont réalisé une simulation de conduite automatisée.

**Résultats**
En résumé, ce document met en lumière les principales tendances et les principaux facteurs qui influencent l'acceptabilité des VA, selon la revue de littérature établie :

- Plus de la moitié des études incluaient une mesure des résultats des intentions : les intentions d'utiliser ou d'adopter les véhicules automatisés ; intention d'achat de véhicule automatisé. Neuf de ces études ont utilisé un Modèle d'Acceptation de la Technologie (TAM, Fred D. Davis) dans lesquelles **il ressort que l'utilité perçue est un prédicteur positif significatif de l'intention d'utiliser les véhicules automatisés.**
- Deux études ont appliqué la Théorie du Comportement Planifié (TPB, Ajzen 1991) ; il en ressort que **les attitudes, les normes subjectives (normes sociales ; perceptions de personnes importantes) et le contrôle comportemental perçu sont des prédicteurs positifs significatifs de l'intention d'utiliser les véhicules automatisés.**
- Les attitudes se sont révélées être le meilleur prédicteur des intentions des participants résidant en France et en Suède. En Australie, l'espérance de performance (c'est-à-dire la mesure de la faculté du système à aider une personne) est le plus fort prédicteur.

- Plus globalement, la revue de littérature a permis d'identifier un certain nombre de prédicteurs positifs significatifs : la confiance, les attitudes (c'est-à-dire la croyances favorables ou défavorables), l'influence sociale, l'innovation personnelle, l'appropriation psychologie (sentiment d'appartenance), auto-efficacité, les avantages perçus ou la sécurité perçue, la recherche de sensations.
- **Le risque perçu et le plaisir sont quant à eux des prédicteurs négatifs significatifs de l'intention d'utiliser des véhicules automatisés**.
- Concernant la volonté des participants de rouler ou voyager en véhicule automatisé, les résultats sont similaires à ceux présentés jusqu'à présent. On retrouve les mêmes facteurs/prédicteurs positifs significatifs, notamment les attentes de performance et la sécurité perçue.
- De plus **le sexe et l'âge ont été identifiés comme des facteurs pouvant également influencer la volonté d'utiliser/de monter dans un véhicule automatisé**. Certaines études montrent que les hommes sont moins craintifs que les femmes vis-à-vis des VA. D'autres que les participants plus jeunes sont plus disposés à conduire des VA que les participants plus âges.
- **Le sexe, les connaissances antérieures et la conscience sont des prédicteurs significatifs de préoccupation concernant les VA.** Les femmes et les personnes les plus consciencieuses rapportant une plus grande préoccupation concernant les véhicules automatisés, et celles ayant une connaissance antérieure des VA rapportant moins de préoccupation concernant les VA.
- Sur le sujet de l'acceptation générale des VA, quatre articles ont découvert que la capacité post humaine (c'est-à-dire la perception que la technologie peut surpasser un humain) est le prédicteur positif le plus fort.
- **Une étude a examiné la relation entre le climat de sécurité routière (les attitudes et les perceptions des individus de l'environnement de la circulation) et l'acceptation générale des VA (mesurée par les avantages en termes d'utilité et les problèmes liés au système)**. Le climat de sécurité routière a été mesuré à l'aide de plusieurs facteurs : les exigences affectives externes (les émotions des usagers de la route), les exigences internes (les compétences, les capacités et la charge de travail des conductions). Les auteurs ont découvert que les demandes affectives externes sont un prédicteur positif significatif des préoccupations du système. Les exigences internes sont plutôt un prédicteur positif significatif des avantages dans les situations et les scénarios de contrôle.

A partir des résultats précédemment décrits, l'article propose des recommandations et des remarques :

- Cette étude s'est consacrée à l'acceptabilité par les utilisateurs des VA privés. D'autres examens ne font pas de distinction entre les VA à usage partagé et privé bien qu'il y ait des raisons de croire que l'utilisation des VA privées peut être influencée par des motivations différentes que celles de navettes partagées.
- **La connaissance des VA a une corrélation négative significative avec les intentions, ce qui suggère que les personnes qui ont une connaissance moindre des véhicules automatisés sont moins susceptibles d'avoir l'intention d'utiliser, d'adopter ou d'acheter un véhicule automatisé.**
- La méta-analyse a révélé que l'âge n'avait pas de relation significative avec les intentions d'utiliser, d'adopter ou d'acheter des VA. Dans l'ensemble, ces résultats mitigés soulignent que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour examiner l'influence de l'âge sur l'acceptation par les utilisateurs des VA individuels.
- La plupart des études incluses dans cette revue ont mesuré l'acceptabilité des VA individuels via des questionnaires d'auto-évaluation. **Or l'acceptation par les utilisateurs peut différer selon qu'une personne a ou non expérimenté cette technologie**. Certaines études incluaient des expériences de conduite automatisée mais des recherches supplémentaires sont nécessaires pour examiner l'acceptation des VA par les utilisateurs après que les individus aient expérimenté cette technologie, soit via un simulateur de conduite, soit, idéalement, via une exposition réelle.
- Il est important que les usagers aient un niveau suffisant de connaissance et de compréhension des capacités des véhicules automatisés de niveau 3 à 5 avant leur diffusion et leur utilisation. Au risque d'arriver à des situations ou l'usager se fie complètement aux fonctions de pilote automatique pouvant alors provoquer des situations dangereuses ou des accidents.

## k. La mobilité collective et partagée

Puis, deux études s'intéressent à la mobilité collective et partagée dont un premier plus ciblé sur une comparaison globale des services de mobilité partagée (Wang, et al. 2021) et un second présentant un cas d'étude de navette automatisée sur un quartier résidentiel d'Oslo (Mouratidis et Serrano 2021).
Cette première étude vise à examiner les facteurs qui influencent l'acceptation des véhicules automatisés et partagés (robots-taxis ou navettes) par le public, ainsi que l'attitude actuelle du public envers les VA partagés, **dans deux pays en développement, le Pakistan et la Chine**. Une enquête sur les préférences déclarées a été menée pour comprendre les habitudes de déplacement, les préférences et les données sociodémographiques des répondants.

Au total, **910 réponses valides ont été recueillies : 551 de Lahore au Pakistan, et 359 de Dalian en Chine**. Un modèle *logit* multinomial et un modèle *logit* multinomial mixte avec effet de panel ont été utilisés pour l'analyse des données. L'étude offre une nouvelle perspective pour comprendre les préférences du public envers les VA partagés dans les pays en développement avec des économies et des cultures différentes. Cette étude à l'intention d'ajouter des contributions précieuses de pays en développement afin d'aider les décideurs politiques à prendre des décisions plus rigoureuses sur les VA partagés dans le monde entier.

**Méthodologie**
Deux zones d'étude sont étudiées dans cet article : Lahore au Pakistan et Dalian en Chine. Lahore est la capitale de la province du Pendjab, et la deuxième mégalopole du Pakistan avec une population de 11.13 millions d'habitants. **Lahore est à la pointe du développement des transports publics et des infrastructures avec notamment le premier système de transport rapide par bus (BRT) du Pakistan.**

**Dalian** est située dans le nord-est de la Chine, **c'est l'une des zones commerciales les plus populaires de Chine, une destination touristique et une zone de transit et de distribution avec son port à conteneurs.** Dalian est une zone industrielle fortement développée avec une population de 6.98 millions d'habitants.

Ces deux grandes villes métropolitaines de pays en développement sont confrontées à des effets négatifs liés à l'urbanisation rapide de leur territoire (augmentation des embouteillages, problèmes environnementaux). **Ces deux villes ont des niveaux de développement différents mais elles ont des systèmes de transport et des politiques de transport public assez similaires.** Ces deux villes sont donc d'assez bon candidats pour cette étude.

Les répondants ont été interrogés à l'aide d'un questionnaire de préférences déclarées. Ce type de questionnaire est utilisé pour analyser le comportement de déplacement des personnes pour des modes de transports alternatifs qui ne sont pas encore disponibles. Divers scénarios hypothétiques sont présentés aux répondants, qui sélectionnent ensuite leurs choix préférés. Ici, ce questionnaire comprend trois sections. Une première section dans laquelle les répondants ont été familiarisés avec les VA partagés et ensuite interrogés sur leurs intérêts technologiques. Dans la deuxième section, ils ont été invités à sélectionner leur mode de transport préféré à partir d'une liste d'alternatives possibles. Enfin, dans la dernière section, les répondants ont été interrogés sur des questions en rapport à leurs caractéristiques sociodémographiques.

Parmi les divers scénarios proposés, quatre alternatives/modes de transports différents et quatre attributs ont été présentés dans les questionnaires de l'enquête. Les deux tableaux ci-dessous présentent les différentes alternatives et attributs pour Lahore et Dalian. Un total de 27 scénarios a pu être construit pour cette étude. Pour faciliter les réponses, les 27 scénarios ont été divisés en neuf blocs de trois chacun, chaque répondant n'a donc eu à envisager que trois scénarios.

Q. Which mode would you prefer for going to school/working trip in peak hours?

| Alternatives \ Attributes | | Walking Distance (m) | Waiting Time (min) | Travel Time (min) | Travel Cost (PKR) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Shared Autonomous Vehicle (SAV) | 0 | 1 | 15 | 350 |
| | Personal Car | 0 | 0 | 15 | 300 |
| | Conventional Taxi | 300 | 4 | 20 | 450 |
| | Mini Bus | 400 | 5 | 45 | 25 |

*Figure 19 : Exemple de choix du questionnaire à Lahore*

Source : *(Wang, et al. 2021)*

Les temps de trajet présentés sont basés sur les vitesses moyennes des différents modes de transport des villes concernées. De même les coûts de déplacement prennent en compte le cout du carburant et couts divers locaux.

Les questionnaires ont été réalisé en ligne via les réseaux sociaux ou par courrier électronique à des résidents sélectionnés au hasard. **Pour la ville de Lahore, 551 réponses valides ont été reçues, chaque répondant a considéré trois scénarios ce qui fait un total de 1653 observations. Pour la ville de Dalian 359 réponses valides ont été reçues, ce qui fait un total de 1077 observations**.

Pour examiner les préférences des répondants, des modèles de choix discrets ont été utilisés pour cette étude : le modèle *logit* multinomial (MNL) et le modèle *logit* multinomial mixte (MMNL). On suppose que les individus choisissent l'alternative qui leur est la plus utile (afin de maximiser leur utilité).

**Résultats**

Tout d'abord, certains résultats sur les statistiques descriptives peuvent être présentés. Sur la connaissance des VA partagés, 75 % et 81 % des personnes interrogées avaient entendu parler des VA partagés à Lahore et Dalian respectivement.

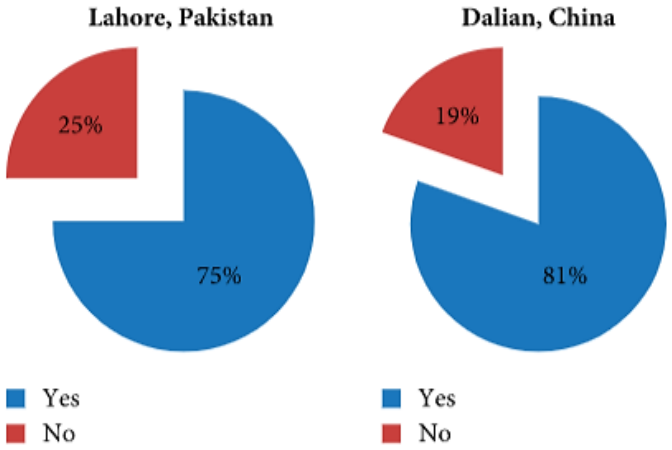



*Figure 20 : Sensibilisation des personnes interrogées aux VA partagés à Lahore et Dalian*

Source : *(Wang, et al. 2021)*

**L'intérêt des particuliers pour la technologie de pointe était élevé avec 71 % et 86 % des personnes interrogées à Lahore et Dalian respectivement qui ont manifesté un intérêt extrême et modéré**. Ils étaient plus intéressés à adopter les VA partagés pour leurs déplacements scolaires et professionnels. L'automatisation semble donc être plus efficace pendant les heures de pointe du travail et de la scolarité que pour les autres déplacements.

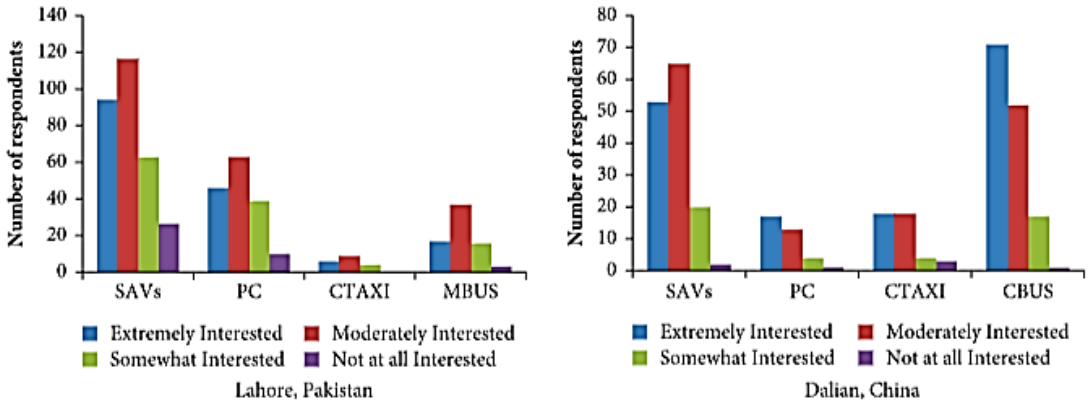



*Figure 21 : Préférences des personnes interrogées pour l'automatisation sur des trajets liés au travail ou à l'éducation*

Source : *(Wang, et al. 2021)*

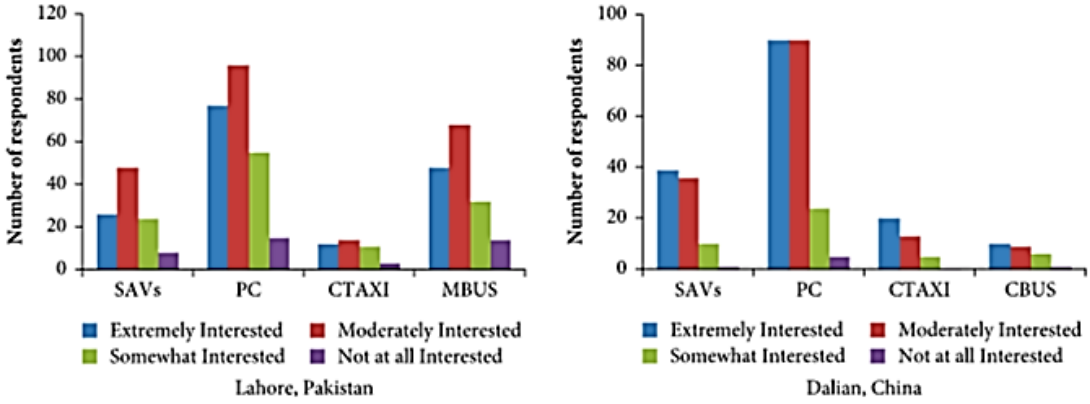



*Figure 22 : Préférences des personnes interrogées pour l'automatisation sur des trajets liés aux courses/shopping*

Source : *(Wang, et al. 2021)*

Les autres résultats montrent une préférence de la mobilité partagée du type taxis ou services de voiture de transport avec chauffeur (VTC, type Uber ou Careem) pour des voyages individuels de shopping. Les taxis ou les services de VTC sont aussi préférés pour des trajets liés à des activités sociales.

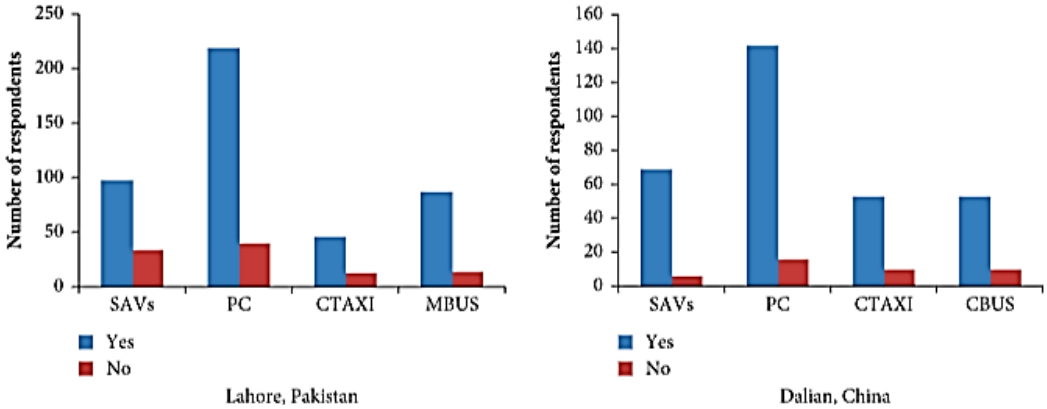



*Figure 23 : Préférences de mobilité partagées pour des activités liées aux courses/shopping*

Source : *(Wang, et al. 2021)*

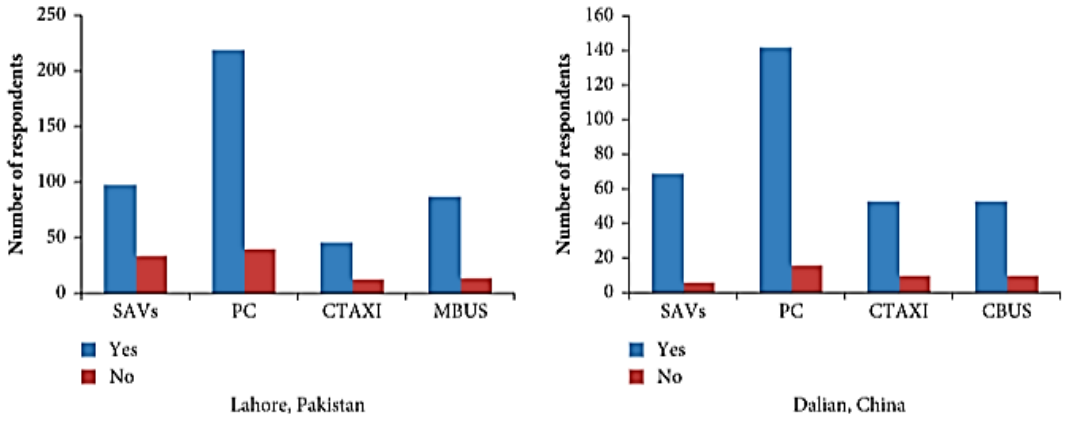



*Figure 24 : Préférences de mobilité partagée pour des activités liées aux déplacements sociaux*

Source : *(Wang, et al. 2021)*

**Modèle MNL :**
Le premier modèle décrit est le plus simple, il s'agit d'un *logit* multinomial (MNL). Ce modèle est basé sur l'hypothèse d'alternatives indépendantes non pertinentes et de réponses homogènes.

Dans le cas de la ville de Lahore, le temps de trajet, le coût du trajet, le temps d'attente et la distance de marche sont tous significatifs et avec des coefficients négatifs. **La probabilité de choix du mode de transport diminue donc si les temps de trajet augmentent (de même pour le cout du trajet, le temps d'attente et la distance de marche)**. Concernant le mode de transport spécifique VA partagé, le coefficient du revenu est significatif et positif. **La probabilité d'utiliser des VA partagés augmente si le niveau de vie des personnes interrogées est important**. Dans le cas de la ville de Dalian, les résultats sont assez similaires avec des coefficients significatifs et négatifs pour le temps le temps de trajet, le cout du trajet et le temps d'attente.

**Modèle MMNL :**
Concernant le deuxième modèle, un modèle *logit* multinomial mixte (MMNL) avec effet de panel a été utilisé. Ce modèle permet d'assouplir certaines hypothèses, il prend notamment en compte le fait que les réponses ne sont pas indépendantes les unes des autres. Les valeurs des coefficients de McFadden $R^2$ sont plus importantes pour les modèles MMNL, les estimations sont donc plus robustes avec ce type de modèle.

Les résultats montrent des coefficients du temps de déplacement et du coût de déplacement négatifs et significatifs. **Les conclusions sont donc similaires, la probabilité du choix du mode de transport diminue si les temps de déplacement et les coûts de déplacement augmentent.**

Cette étude visait ainsi à examiner l'attitude du public envers l'adoption des véhicules automatisés et partagées dans des pays en développement comme la Chine et le Pakistan. Les principaux résultats de l'étude ont révélé que des attributs génériques tels que le temps de déplacement, le temps d'attente et le coût du déplacement ont une influence significative sur les préférences de transport dans les deux villes. De plus, les personnes très instruites avec des revenus importants sont plus susceptibles d'utiliser des VA partagés à Lahore. Enfin, les résultats descriptifs ont montré que les répondants avaient des préférences légèrement plus élevées pour les véhicules automatisés et partagées pour différents objectifs de voyage en raison du partage de ces véhicules plutôt que de l'automatisation dans les deux villes.

Une des principales limites de l'étude est celle de l'échantillon composé en majorité d'étudiants et de répondants assez jeune ce qui peut entrainer un biais dans l'analyse du comportement des répondants. Une autre limite est celle des choix proposés dans le questionnaire qui ne prend pas en compte tous les modes de transport possible (comme les deux roues motorisées et la marche).

L'article ci-dessous s'intéresse cette fois à l'utilisation des bus automatisés (navettes électriques automatisées) circulation le long d'une ligne de transport public régulière dans un quartier d'Oslo, en Norvège (Mouratidis et Serrano 2021). A l'aide d'une approche à méthodes mixtes basée sur les données d'enquêtes et d'entretiens, l'article examine les intentions d'utiliser des bus autonomes avant et après leur introduction.

**Méthodes**

Les bus automatisés ont été introduits à Oslo, sur une ligne publique (85B), en tant que projet pilote faisant partie d'un programme de mobilité intelligente. **Ce sont des navettes électriques pouvant transporter huit personnes plus un hôte**. Les bus ne sont pas entièrement automatisés, l'hôte fournit une assistance et des informations et peut contrôler manuellement le véhicule si nécessaire. Les bus circulent à une vitesse **maximum de 18 km/h, sur un itinéraire prédéfini de 1.5 km**.

Le but de cette expérimentation a été de comprendre si des bus automatisés fréquents faciliteraient l'utilisation des transports publics au lieu de la voiture. Les bus étaient disponibles à une **fréquence de 15 min** au lieu d'une heure avec les précédents bus conventionnels.

L'étude est basée sur deux études indépendantes : une étude « avant utilisation » et une étude « après utilisation ». L'étude avant utilisation recueille des données sur l'intention future des résidents d'utiliser le bus automatisé avant son introduction. L'étude après utilisation se concentre sur l'utilisation des bus autonomes nouvellement introduits et examine comment les passagers vivent leur voyage et s'ils utiliseraient à nouveau des bus autonomes à l'avenir.

Pour **l'enquête avant utilisation, les répondants ont été recrutés dans la rue dans le quartier d'Ormøya d'Oslo, l'échantillon total étant de 117 répondants**. Le questionnaire comprenait des questions sur des caractéristiques démographiques, sur l'utilisation de la voiture, sur leurs perceptions des défis concernant les transports autour de leur quartier.

Concernant **l'enquête après utilisation**, les répondants ont aussi été recrutés dans la rue dans le quartier d'Ormøya au niveau des arrêts de bus. Les entretiens ont été semi directifs avec à la fois des questions quantitatives (sur les intentions d'usage de ces bus à l'avenir et le sentiment de sécurité pendant le voyage) et qualitatives (sur les expériences de voyage et les attitudes). **L'échantillon total était de 25 participants**.

**Résultats de l'étude avant utilisation**

Pour la première étude, une des premières questions concernait l'intention d'usage de ces nouvelles navettes automatisées. La majorité des répondants (64 %) ont déclaré qu'ils utiliseront très probablement ou essaieront ce bus et 2 % seulement qu'il est très improbable qu'ils l'utilisent à l'avenir.

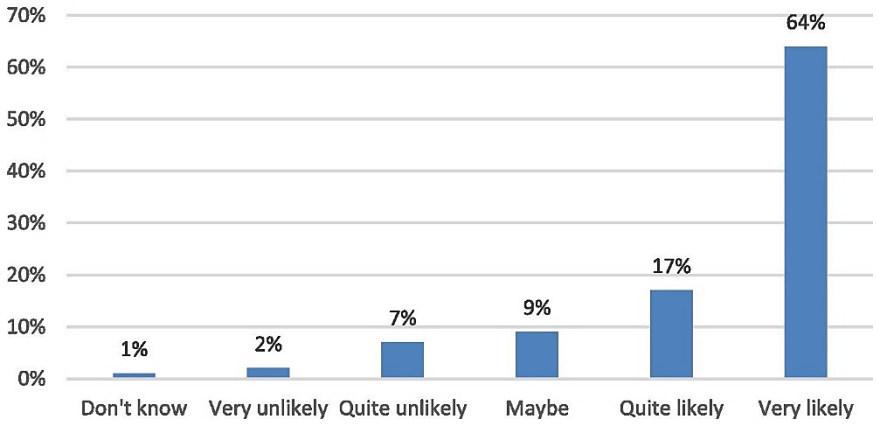



*Figure 25 : Intention d'utiliser des bus automatisés à l'avenir (avant utilisation)*

Source : (Mouratidis et Serrano 2021)

Ensuite, une régression logistique a été réalisée afin de déterminer les caractéristiques démographiques, lieu de travail, utilisation de la voiture et les perceptions du bus conventionnels liées à la probabilité d'utiliser des bus automatisés. Cette régression s'est faite sur la variable dichotomique « intention d'utiliser des bus autonomes » (1 : assez probable ou très probable et 2 : très improbable, assez improbable et peut être).

D'après ces résultats, **les perceptions sur des bus conventionnels jugés comme peu fréquents sont positivement associées à la probabilité d'utiliser des bus autonomes à l'avenir** (résultat significatif $p < 0.01$). Cela confirme l'idée que le principal défi de transport est celui de la fréquence des bus. Un deuxième résultat intéressant est celui concernant la variable âge, celle-ci est négativement associée à la probabilité d'utiliser des bus automatisés à l'avenir (résultat significatif $p < 0.05$). Les personnes plus âgées semblent moins disposées à utiliser les bus automatisés, possiblement parce qu'elles sont plus réticentes à utiliser les nouvelles technologies et/ou ont une tolérance plus élevée à la faible fréquence des départs de bus classiques dans la région.

**Résultats de l'étude après utilisation**

Pour la deuxième étude, la même question d'intention d'usage a été posée aux passagers des bus automatisés. 76 % des répondants ont déclaré avoir l'intention d'utiliser à nouveau des bus automatisés à l'avenir et 16 % des répondants ont déclaré ne plus vouloir utiliser ce service.

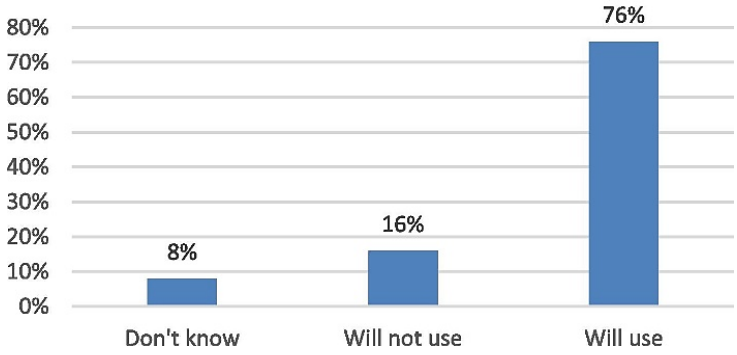



*Figure 26 : Intention d'utiliser des bus automatisés à l'avenir (après utilisation)*

*Source : (Mouratidis et Serrano 2021)*

Lors de cette enquête, des interviews ont été réalisées permettant d'obtenir un certain nombre d'informations qualitatives sur l'intention d'usage de ces navettes automatisées. **Parmi ces réponses, des participants ont affirmé que cela ne faisait aucune différence pour eux que le bus ait un chauffer ou non**. Pour certains participants, les bus automatisés, avec la technologie existante, seraient plus utiles pour des distances plus courtes en raison de leur faible vitesse. Malgré les attitudes généralement positives parmi les participants, certains participants sont restés sceptiques quant aux autobus autonomes et à leur utilité. Ces participants ne les utiliseraient plus à l'avenir (pour des raisons de vitesse, et d'absence de chauffeur).

**Sur le sujet du niveau d'automatisation, plusieurs participants ont souligné le fait que la technologie des véhicules autonomes doit encore être améliorée.** Plusieurs problèmes ont été identifiés comme notamment une vitesse relativement faible, une rupture brutale et la nécessite d'un hôte à bord.

Au **niveau du sentiment de sécurité des répondants, 88 % d'entre eux ont répondu se sentir en sécurité à bord du véhicule.** Seulement 4 % d'entre eux ne se sentaient pas en sécurité. De plus, certains participants ont précisé qu'ils se sentaient en sécurité pour la vitesse actuelle, mais qu'ils ne ressentiraient pas la même chose pour des vitesses plus élevées. Enfin, dans le même temps, une grande majorité des participants a suggéré que la vitesse des véhicules devait augmenter à l'avenir.

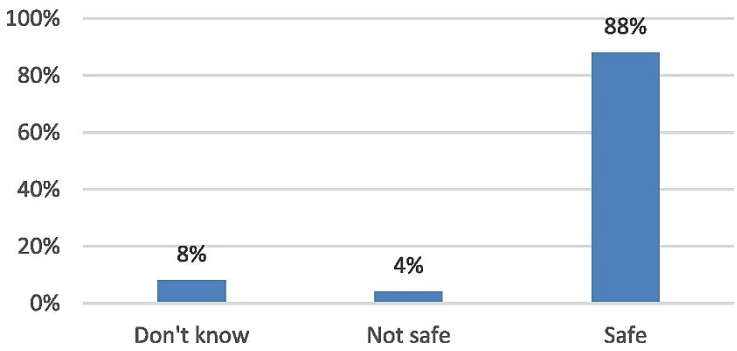



*Figure 27 : Sentiments de sécurité lors des déplacements en bus autonome*

*Source : (Mouratidis et Serrano 2021)*

Cet article fournit ainsi des informations sur l'utilisation de navettes électriques automatisées dans un quartier résidentiel, un sujet très peu traité dans la littérature scientifique actuelle. Ces informations pourraient être utilisées pour une future introduction de navettes automatisées dans les systèmes de transport des villes.

**Les premiers résultats montrent que les résidents seraient prêts à utiliser des bus automatisés dans les zones ou les transports publics sont peu fréquents, si ceux-ci sont plus fréquents que les bus conventionnels**. La plupart des participants était impatient d'utiliser des bus automatisés. Cette intention était plus fort pour les personnes moins âgées de l'enquête. **Après l'introduction des navettes, la plupart des passagers ont eu une attitude positive et l'intention d'utiliser régulièrement ces navettes.** De plus, le sentiment de sécurité lors des déplacements est assez positif.

Une des limites de cette étude provient du niveau d'automatisation des navettes. Celles-ci ne sont pas entièrement automatisées avec la présence d'un opérateur à bord pouvant intervenir si nécessaire. Cela peut avoir affecté positivement les perceptions de la sécurité pour certains participants. De plus tous les trajets et entretiens ont été réalisés en journée ce qui peut exercer une influence sur les résultats. **Les expériences et les intentions d'utilisation des passagers devraient être réévaluées avec des bus entièrement automatisés dans les études futures**.

Deux suggestions ont été rapportées par les participants pour atténuer deux aspects négatifs (vitesse faible et freinage brusque) de ces navettes automatisées : augmenter la vitesse des navettes et mettre en place un freinage plus doux. Néanmoins **pour atteindre des vitesses plus élevées et des freinages moins brusques la technologie d'automatisation doit être encore améliorée.**

Enfin, pour comprendre les impacts possibles des bus automatisés sur le comportement de déplacement, les futures enquêtes devraient se concentrer sur la question de savoir si, à long terme, le comportement de déplacement des personnes change. Les implications et les risques sociétaux et environnementaux de l'utilisation future des bus autonomes devraient aussi être pris en compte dans les futures études sur le sujet.

## l. Focus sur la propension à payer des usagers

Cet article s'intéresse au consentement à payer des utilisateurs pour divers niveaux d'automatisation de véhicules privés ou partagés (Wang, Faizus Salehin et Nurul Habib 2021). Les auteurs essaient de comprendre la volonté des consommateurs à payer pour ce type de services. Tout d'abord, une revue de littérature a été réalisée afin d'avoir un premier aperçu des montants que les individus seraient prête à payer pour obtenir une technologie d'automatisation. Ensuite, à l'aide d'un travail de modélisation sur un ensemble de données collectées dans la région du Grand Toronto Area (GTA), une analyse sur le consentement à payer des répondants a été réalisée.

A titre d'information, cet article traite des problématiques de construction de questionnaires et d'analyses statistiques des données. Bien que ces sujets soient très intéressants et très complets, dans le cadre de ce résumé, nous nous concentrons particulièrement sur les résultats du consentement à payer des consommateurs.

Plusieurs études se sont intéressées au consentement à payer des consommateurs pour avoir une technologie d'automatisation dans leurs véhicules. Un tableau récapitulatif des résultats de huit études a été réalisé. La taille de l'échantillon, la zone d'étude, la méthode d'enquête et les principaux résultats y sont détaillés. Dans une future revue bibliographique, un focus sera certainement réalisé sur ce volet de la propension à payer, cependant, pour cette édition, ces références n'ont pas été étayées.

| Author | Sample size | Coverage | Method | WTP for vehicle automation |
|---|---|---|---|---|
| Schoettle and Sivak (2014) | 1,533 | U.S., U.K., and Australia | Descriptive statistics | More than 50% of the respondents have US$0 WTP. 25% of respondents from each of U.S., U.K., and Australia reported WTP of at least US$2,000, US$1710 and US$2350 respectively for automation level 4 or more. |
| Kyriakidis et al. (2015) | 5,000 | 109 countries | Descriptive statistics | Average WTP of US$4,110 for partial automation, US$4280 for high automation and US$4,560 for full automation. There is substantial heterogeneity in WTP for full automation, where 22% of the respondents did not want to pay anything, but 5% of respondents were willing to pay more than US$30,000. |
| Bansal and Kockelman (2017) | 2,167 | Across the U.S. | Descriptive statistics | 39% indicated that their WTP is US$0. For those who are willing to pay, the average WTP is US$5,470 for level 3 automation and US$14,196 for level 4 automation. |
| Bansal et al. (2016) | 347 | Austin, Texas, U.S. | Descriptive statistics | An average of US$7,253 for level 4 automation and US$3,300 for level 3 automation |
| Daziano et al. (2017) | 1,260 | Across the U.S. | Semi-parametric estimation | WTP of around US$3,500 for partial automation (aggregated level 2, level 3, and level 4 automation) and around US$4,900 for full automation (level 5). |
| Ellis et al. (2016) | 265 | Australia, New Zeeland | Linear regression | An average WTP of $6,903 for full automation |
| Olsen et al. (2018) | 1,498 | Greater Toronto and Hamilton Area, Canada | Descriptive statistics | For partial automation, 19.6% would not pay anything, and 17.1% would pay at least $5,000. For full automation, 25.2% would not pay anything, and 14.9% would pay at least $10,000. |
| Bansal and Kockelman (2018) | 1,088 | Texas, U.S. | Descriptive statistics | On average WTP of the respondents are US$2910, US$4607, US$7589 for Level 2, Level 3, and Level 4 respectively. |
| Liu et al., (2019) | 1,355 | Tianjin and Xi'an, China | Descriptive statistics | 26.3% are not willing to pay anything, 39.3% are willing to pay less than US $2900, 34.4% are willing to pay more than US$2900. |

*Tableau 2 : études réalisées sur le consentement à payer*

Source : *(Wang, Faizus Salehin et Nurul Habib 2021)*

**Méthodologie**

L'étude couvre le **territoire du Grand Toronto Area (GTA) au Canada** d'une population de 6.4 millions d'habitants. Ce territoire n'ayant pas eu d'expérimentations pilotes de véhicules automatisés, des enquêtes de préférences déclarées ont été utilisées pour étudier les divers facteurs et effets sur le comportement de choix du consommateur dans des scénarios hypothétiques.

L'enquête comporte deux éléments principaux :

- Des questionnaires pour recueillir les attributs socio-économiques des répondants
- Des expériences sur les préférences déclarées

Les questionnaires ont permis d'obtenir des informations sur les ménages, des informations personnelles sur les répondants, et les déplacements des répondants. Les enquêtes de préférences déclarées ont quant à elles permis d'identifier les intentions d'adoption des différents niveau d'automatisation des véhicules et leurs usages (mobilité individuelle / propriété partagée).

L'enquête a été menée en ligne, à l'aide de l'outil SurveyGizmo, en mars 2019. Les répondants sont des résidents, âgés d'au moins 18 ans de la GTA, qui prévoient d'acquérir un nouveau véhicule au cours des 5 à 10 prochaines années. Au total **190 réponses ont été retenues**. L'objectif de cette enquête est d'évaluer le consentement à payer des consommateurs pour différents niveaux d'automatisation sous des choix de propriété privée et partagées ou la combinaison de ceux-ci. Des modèles du type *logit* mixte et de *logit* imbriqué ont été utilisés.

**Résultats**

**Les consentements à payer ont été estimés en divisant les paramètres des niveaux d'automatisation par le paramètre du coût supplémentaire de l'automatisation.**

Les consentements à payer estimés varient de 10 800 $ CAN (dollar canadien) à 29 800 $ CAN (7 471 € à 20 615 €) selon le prix du véhicule et les formulations du modèle. Les résultats montrent **une hétérogénéité significative dans les consentements à payer des consommateurs**. Une grande partie des consommateurs ne veulent rien payer pour l'automatisation, mais d'autres sont prêt à dépenser une somme considérable.

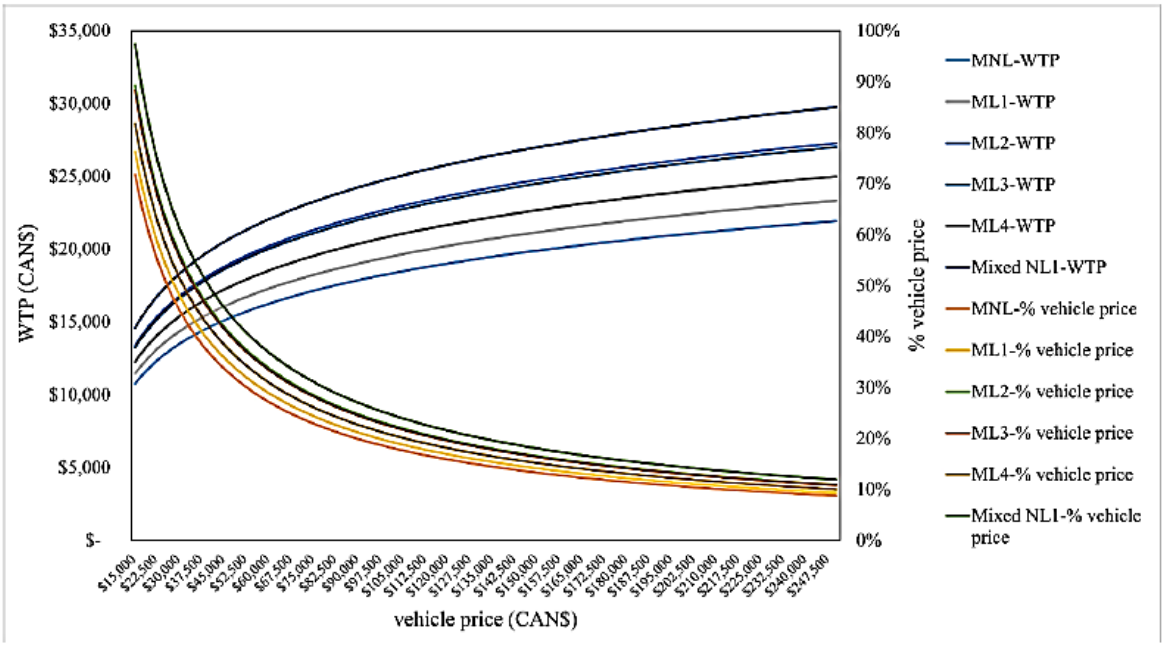



*Figure 28 : Consentement à payer pour l'automatisation de niveau 4 par rapport aux prix du véhicule*

Source : *(Wang, Faizus Salehin et Nurul Habib 2021)*

En moyenne, les répondants sont prêts à payer environ 18 000 $ pour avoir une automatisation de niveau 4 dans leurs prochains véhicules privés. **68 % de leur consentement à payer sont compris dans la fourchette de 10 000 $ CAN à 20 000 $ CAN**. De plus, 59 % des répondants souhaiteraient payer moins de 50 % du prix de leur prochain véhicule pour une automatisation de niveau 4.

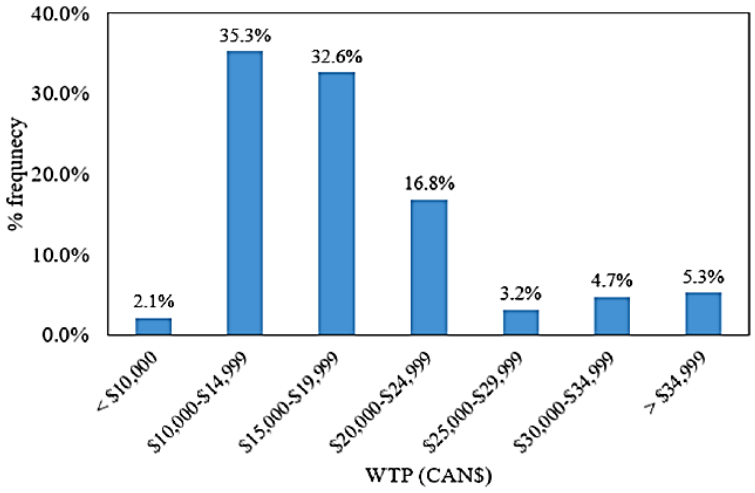
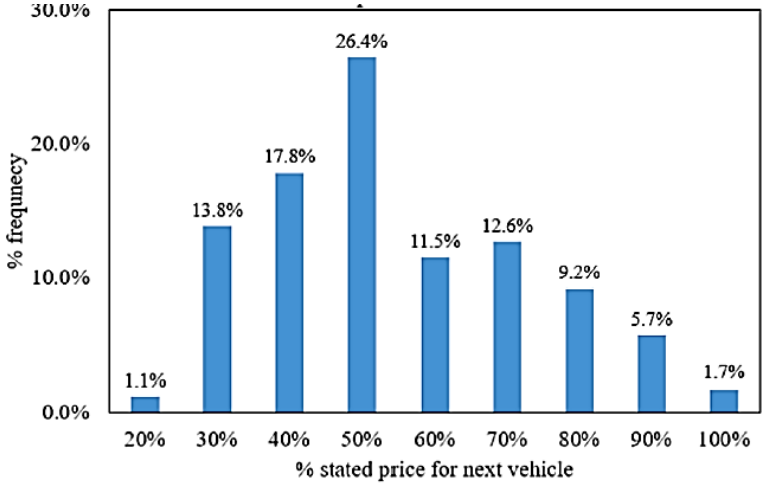



*Figure 29 : Fréquence des estimations de la propension à payer pour des véhicules hautement automatisés*

Source : *(Wang, Faizus Salehin et Nurul Habib 2021)*

*Figure 30 : Estimation de la proportion à payer du prix total attribué à l'automatisation pour des véhicules hautement automatisés*

Source : *(Wang, Faizus Salehin et Nurul Habib 2021)*




Cet article a analysé un ensemble de données collectées à Toronto, au Canada, dans le but de comprendre les préférences des usagers pour divers niveaux d'automatisation pour des véhicules privés et des véhicules partagés. **Le consentement à payer des consommateurs a été étudié, il ressort que les consommateurs seraient prêt à payer entre 10 800 $ CAN à 29 800 $ CAN selon le prix du véhicule**, et que **la plupart d'entre eux (67 %) souhaiterait payer entre 10 000 $ CAN et 20 000 $ CAN pour posséder un véhicule hautement automatisé.**

Une des limites de cette étude provient d'une estimation du consentement à payer surestimée pour les véhicules à bas prix. En effet, il semble déraisonnable de penser que les consommateurs seraient prêts à dépenser 80 % de plus de leur budget prévu de leur véhicule pour un véhicule automatisé (hautement notamment). Des seuils d'estimation du consentement à payer semblent nécessaires pour les futures études sur le sujet.

### m. Focus sur une catégorie d'usagers : les personnes âgées

Cet article s'intéresse aux avantages, en termes de mobilité et d'autonomie, que pourraient représenter les véhicules automatisés pour les personnes âgées (Haghzare, et al. 2021). Ces avantages bien qu'ils soient assez significatifs, ne peuvent être comptabilisés que si l'acceptation de ces nouvelles technologies est suffisante pour les personnes âgées. Dans cette étude, les caractéristiques affectant l'acceptation de ces véhicules ont été étudiés. Une expérience de conduite a été réalisé afin de mesurer l'exposition à la technologie des véhicules automatisés (avant ou après), le style de conduite, les conditions de conduite (claire, pluie, trafic) ainsi que l'âge.

**Hypothèses**

Afin d'avoir un premier aperçu de l'acceptabilité des individus à l'égard des véhicules automatisés, une revue de littérature a été réalisé afin de comprendre les premiers facteurs influençant la perception des véhicules automatisés par les personnes âgées. Il en ressort que plus le niveau d'automatisation est important, plus la confiance envers cette technologie doit être prononcée[6] pour pouvoir s'y fier. De plus, les personnes âgées peuvent percevoir les échecs et potentielles conséquences des accidents des véhicules automatisés comme plus inquiétants compte tenu de leur fragilité liée à l'âge[7]. Mais dans le même temps les personnes âgées sont les plus disposés à utiliser l'automatisation pour « réduire le potentiel ou la gravité d'une collision »[8].

De plus, les véhicules automatisés permettent des avantages spécifiques pour les personnes âgées, notamment afin de lutter contre les baisses potentielles liées à l'âge de leurs performances de conduite. En

[6] Lee et See, « Trust in Automation ».
[7] Li, Braver, et Chen, « Fragility versus Excessive Crash Involvement as Determinants of High Death Rates per Vehicle-Mile of Travel among Older Drivers ».
[8] Abraham, « 1 AUTONOMOUS VEHICLES AND ALTERNATIVES TO DRIVING: TRUST, 2 PREFERENCES, AND EFFECTS OF AGE ».

résumé, ces différents résultats laissent penser qu'il existe une certaine volonté des personnes âgées à se fier aux véhicules automatisés mais qui dépend à la fois de la fiabilité perçue de ces systèmes et de ces avantages.

Plusieurs paramètres influent cette fiabilité perçue, notamment l'exposition (avant ou après) à un système automatisé comme le montrent plusieurs études[9]. Mais à l'heure actuelle la grande majorité des études et enquêtes portent uniquement sur l'acceptabilité a priori des individus vis-à-vis des véhicules automatisés, **il peut donc exister un réel écart entre la fiabilité perçue à priori et la fiabilité réelle après une expérience personnelle**. Cette étude vise donc à minimiser cet écart en questionnant les sujets avant et après une expérience de simulation de conduite automatisé.

**Méthodes et conception expérimentale**

**Quarante-cinq participants éligibles, présélectionnées par téléphone, ont participé à cette étude.** Ils devaient être âgés de 65 ans ou plus ; avoir un permis de conduire valide ; conduire régulièrement (au moins une fois par semaine) ; n'avoir eu aucune exposition préalable à l'automatisation automobile de haut niveau ; ne déclarer aucune déficience physique, sensorielle ou cognitive les empêchant de conduire ; avoir une connaissance suffisante de l'anglais. Au total, l'échantillon final comprend trente-six personnes âgées en bonne santé (tranche d'âge = 65-90 ans, ratio Femme/Homme = 15:21). Pour caractériser les données démographiques des participants, leurs habitudes de conduite, ainsi que leur état de santé physique et cognitive, un questionnaire ainsi que des test (*Montreal Cognitive Assessment*) ont été réalisés.

**L'expérience a été réalisé à l'aide d'un simulateur de conduite haute-fidélité, DriverLab, situé au Toronto Rehabilitation Institute.** Le simulateur est équipé d'un véhicule de tourisme, monté sur une plaque tournante et entouré de projecteurs haute résolution montés à l'intérieur d'un dôme. L'étude a pris en compte trois conditions de conduite : temps clair, pluie, trafic élevé ; et deux niveau d'automatisation : manuel et automatisé. Ce qui donne 6 différents scénarios de conduite de 8 à 10 minutes chacun.

Deux questionnaires ont été utilisés pour évaluer, (1) le confort général des participants avec différents niveaux d'automatisation et (2) l'acceptation des véhicules automatisés par les participants. Le questionnaire (1) a été administré avant et après leur expérience dans le simulateur. Le questionnaire (2) a été administré trois fois, après chaque condition de conduite.

**Résultats**

Différents types de données et de résultats ont été analysés afin de mesurer les facteurs favorisant l'acceptation des véhicules automatisés. L'un des premiers effets que l'on peut évaluer est celui du **confort avant et après exposition** des participants. Ils avaient le choix entre 5 niveaux d'automatisation plus ou moins élevé, **les participants ont classé le niveau d'autonomie le plus élevé, « Autonomie totale », comme le mode le plus confortable**.

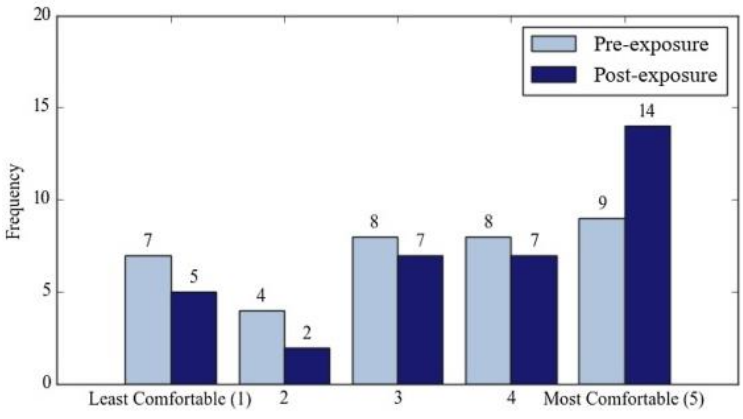



*Figure 31 : Comparaison entre les classements d'exposition avant et après FAV*

Source : *(Haghzare, et al. 2021)*

[9] Dixit et al., « Risk of Automated Driving ».

Ensuite, à l'aide des données collectées lors des différents scénarios l'effet du style de conduite a pu être analysé. Différentes mesures sur ces caractéristiques et métriques (comme la vitesse moyenne et maximale, les pics d'accélération, les secousses) ont été analysées et comparées. Il en ressort que **les style de conduite automatisée qui sont significativement plus agressifs que le style de conduite individuel des personnes âgées peut affecter négativement l'attitude des personnes âgées envers l'utilisation des véhicules automatisés**.

Pour évaluer l'effet de l'âge quatre groupes d'âge ont été constitués (65-70 ; 70-75 ; 75-80 ; 80+) sur différents facteurs d'acceptation présent dans le questionnaire (2). Les résultats de comparaisons multiples ont montré que le score d'attentes de performance rapporté par le groupe d'âge 4 (80+) était significativement inférieur à celui du groupe d'âge 1 (65-70).

Le dernier effet analysé est celui des conditions de conduite sur l'acceptabilité des véhicules automatisés. Une analyse de variance à mesures répétées avec le facteur intra-sujet des conditions de conduite a été réalisée pour neufs facteurs d'acceptabilité (voir figure XX). Il en ressort aucun effet significatif des conditions de conduite sur aucun des facteurs d'acceptation. Néanmoins, la moyenne de tous les scores d'acceptation était supérieure au score neutre de 4.

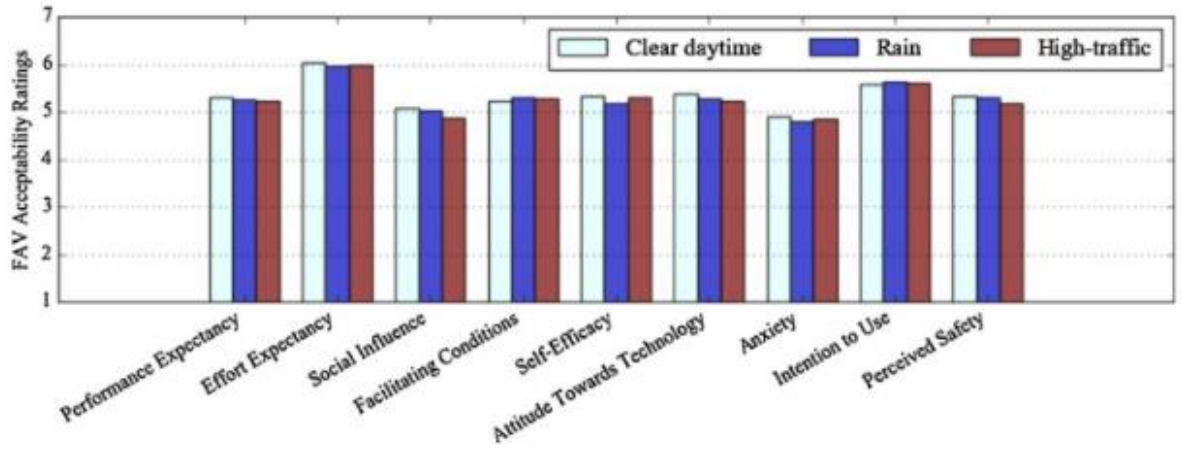



*Figure 32 : Ecarts moyens et type de tous les facteurs signalés d'acceptation des véhicules automatisés séparés par condition de conduite. Score allant de 1 (non acceptable) à 7 (acceptable).*

Source : *(Haghzare, et al. 2021)*

Tout d'abord, **il ressort des résultats présentés une assez forte acceptation générale des véhicules automatisés par les personnes âgées** (en décalage avec les précédentes études) ce qui peut être dû à l'expérience de simulation assez fiable. Enfin, de tous les facteurs analysés dans cette étude, l'âge et le style de conduite se sont avérés avoir un effet significatif sur les facteurs d'acceptation, un âge plus avancé et une plus grande dissemblance du style de conduite individuel par rapport aux véhicules automatisés étaient associées à une acceptation plus faible.

### n. Influence d'une simulation sur l'acceptabilité

Dans cet article, les auteurs s'intéressent aux facteurs pouvant augmenter le sentiment subjectif de sécurité et de contrôle dans le cadre de l'utilisation des véhicules automatisés (Schneider, et al. 2021). Ils se posent notamment la question de savoir si la transparence du système, à travers une transparence de l'interface homme-machine et de l'intelligence artificielle, augmente l'expérience de l'utilisateur. **Une simulation de conduite a été réalisée, suivie de deux questionnaires afin d'évaluer l'évolution ainsi qu'un entretien post expérience a été conduite afin d'évaluer l'influence de ces paramètres.**

**Expérience**

Une expérience de simulation a donc été réalisé afin d'évaluer l'évolution de l'acceptation des véhicules automatisés. Cette expérience s'est faite à l'aide d'un simulateur équipé de 5 écrans et de 5 sièges, d'un **système multimodal avec de la réalité augmentée** fournissant des explications supplémentaires pendant le trajet et d'une application mobile pour des explications rétrospectives du trajet. Cette simulation reproduit un trajet (pré enregistré) en **navette autonome à Stuttgart en Allemagne de 8 minutes.**

A travers cette expérience, les auteurs de cette étude cherchent à répondre aux deux questions suivantes :

- Les explications en direct, lors du trajet, augmentent-elles l'expérience utilisateur du passager ?
- Les explications rétrospectives augmentent-elles l'expérience utilisateur du passager ?

**Méthodes et hypothèses**

Les auteurs ont utilisé une conception intra-sujets à méthodes mixtes. **40 participants**, 14 femmes et 26 hommes, avec 24.65 d'âge moyen ont participé à cette étude.

L'expérience s'est déroulée de la manière suivante :

- Ils ont été séparés en deux groupes A et B composés de 20 personnes chacun. Les deux groupes sont entrées dans la simulation de conduite automatisée mais avec pour différence des explications en direct lors du trajet pour le groupe B et aucune pour le groupe A.
- Les deux groupes ont ensuite répondu à un questionnaire AVAM (Autonomous Vehicle Acceptance Model) et un questionnaire UEQ-S (User Experience Questionnaire Short).
- Les deux groupes ont eu droit à des explications rétrospectives via une application mobile
- Enfin, les deux groupes ont à nouveau répondu aux deux questionnaires AVAM et UEQ-S.

**Résultats**

Trois types de données ont été analysées, celles du questionnaire AVAM et celles du questionnaire UEQ-S et enfin celles de l'interview après l'expérience.

Pour le premier questionnaire AVAM plusieurs informations sont disponibles :

- **Aucune différence significative concernant la sécurité perçue entre les deux groupes**
- L'application téléphone a permis d'augmenter significative la compréhension du système pour le groupe A (sans explication en direct).
- **Le groupe B (avec explication en direct) a significativement une meilleure compréhension du système après le trajet en comparaison au groupe A.**
- Aucune différence significative concernant l'intérêt de cette technologie entre les deux groupes.
- **Le sentiment perçu de contrôle est significativement plus important après les explications rétrospectives pour les deux groupes**. Ce sentiment perçu de contrôle est aussi plus important pour le groupe B en comparaison au groupe A pendant le trajet (dû aux explications en direct).
- Les explications en direct lors du trajet ont augmenté de manière significative le sentiment de contrôle.
- **Il existe une corrélation entre l'expérience d'utilisateur et le sentiment de contrôle.**

Perceived Safety (Items 24, 25, 26)
Cronbach $\alpha$: 0.871

| | $A_{drive}$ | $A_{app}$ | $B_{drive}$ | $B_{app}$ |
|---|---|---|---|---|
| values | 5.23 | 5.30 | 5.45 | 5.62 |
| SD | 1.30 | 1.53 | 1.14 | 1.23 |
| p | 0.1865 | | 0.136 | |
| | $A_{drive}$ | $B_{drive}$ | $A_{app}$ | $B_{app}$ |
| values | 5.23 | 5.45 | 5.30 | 5.62 |
| SD | 1.30 | 1.14 | 1.53 | 1.23 |
| p | 0.3405 | | 0.3615 | |

*Figure 33 : Résultats AVAM sur le sentiment perçu de sécurité lors de la simulation (1-pas d'accord, 7 d'accord)*

Source : (Schneider, et al. 2021)

| Attitude Towards Using Technology (Items 13, 14, 15) Cronbach $\alpha$: 0.769 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $A_{drive}$ | $A_{app}$ | $B_{drive}$ | $B_{app}$ |
| values | 4.17 | 4.33 | 4.55 | 4.60 |
| SD | 1.38 | 1.45 | 1.44 | 1.38 |
| p | 0.251 | | 0.312 | |
| | $A_{drive}$ | $B_{drive}$ | $A_{app}$ | $B_{app}$ |
| values | 4.17 | 4.55 | 4.33 | 4.60 |
| SD | 1.38 | 1.44 | 1.45 | 1.38 |
| p | 0.204 | | 0.2485 | |

*Figure 34 : Résultats AVAM sur l'attitude vis-à-vis de l'utilisation de cette technologie*

Source : (Schneider, et al. 2021)

| UEQ-S item | Pearson Corr. | Sig. (1-tailed) |
|---|---|---|
| obstructive – supportive | 0.255* | 0.011 |
| complicated – easy | 0.071 | 0.265 |
| inefficient – efficient | 0.219* | 0.026 |
| clear – confusing | 0.328** | 0.001 |
| boring – exciting | 0.359** | 0.001 |
| not interesting – interesting | 0.341** | 0.001 |
| conventional – inventive | 0.335** | 0.001 |
| usual – leading edge | 0.333** | 0.001 |

*Figure 35 : Corrélation entre le sentiment de contrôle et l'expérience d'utilisateur*

Source : (Schneider, et al. 2021)

**Les résultats du questionnaire UEQ-S montrent que le groupe A (sans explication en direct) a eu une mauvaise expérience d'utilisateur lors de la simulation**. Mais les explications fournis après la simulation via l'application mobile ont permis d'augmenter significativement leur expérience d'utilisateur. Alors qu'au contraire, le groupe B (avec explications en direct) a gardé une expérience d'utilisateur stable pendant l'expérimentation.

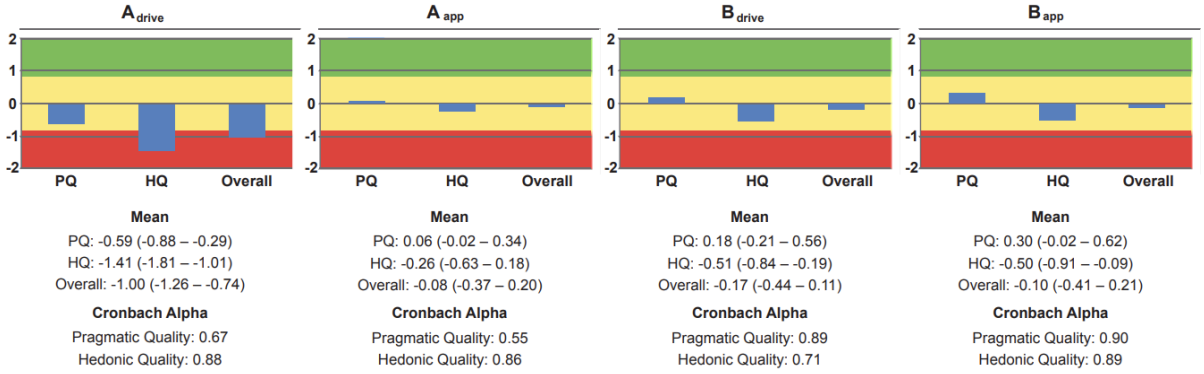



*Figure 36 : Résultats UEQ-S des différentes interactions pendant et après le trajet pour les deux groupes de participants*

Source : *(Schneider, et al. 2021)*

Enfin, l'interview post expérience nous permet d'avoir un certain nombre de résultats qualitatifs sur le ressenti des participants. Les réponses des participants ont été synthétisées sous la forme d'un tableau dans lequel quatre réponses peuvent être soulignées.

Pour le groupe A (sans explications en direct) en plus grande proportion, la navette automatisée roulait de manière prudente et lentement, et dans certaines situations ces réactions étaient imprévisibles. Au contraire pour le groupe B (avec explications en direct), les situations étaient claires et prévisibles. L'application mobile est quant à elle plutôt utile pour le groupe A et inutile pour le groupe B.

| Statement category. | Statements regarding the drive. | $A_{drive}$ | $B_{drive}$ |
|---|---|---|---|
| Shuttle manoeuvre | The situation detection is slow. | 2 | 12 |
| Shuttle manoeuvre | The shuttle drives cautiously and slowly. | 8 | 3 |
| Shuttle manoeuvre | A human would have reacted faster. | 1 | 4 |
| Shuttle manoeuvre | Interesting to see how the shuttle acts. | 4 | 2 |
| Shuttle manoeuvre | In some situations, the shuttle's reaction was unclear. | 13 | 7 |
| Shuttle manoeuvre | The shuttle's reactions were (always) clear. | 5 | 12 |
| Shuttle communication | The AR information is comprehensible. | – | 11 |
| Shuttle communication | The AR information was shown too late. | – | 2 |
| Participant feelings | I am not in control. | 5 | 3 |
| Participant feelings | The drive is boring. | 9 | 3 |
| Participant feelings | I was feeling well. | 10 | 14 |
| | **Statements regarding the app.** | $A_{app}$ | $B_{app}$ |
| App | The app is unnecessary or not helpful. | 6 | 13 |
| App | The app is helpful. | 14 | 6 |

*Figure 37 : Réponses post interview des participants regroupées par énoncé*

Source : (Schneider, et al. 2021)

En conclusion, **les résultats nous montrent que des explications en live des décisions du véhicule automatisé et de sa perception sont associées à une augmentation significative de l'expérience de l'utilisateur**, de la compréhension du système et du sentiment perçu de contrôle. Enfin les explications rétrospectives étaient associées (dans le cas où il n'y a pas eu d'explication en live) à une augmentation significative de l'expérience de l'utilisateur, de la compréhension du système et du sentiment perçu de contrôle.

Cet article permet d'introduire à la fin de la revue bibliographique sur l'acceptabilité le second volet de cette note basé et construit sur l'information et la formation, qui émerge de plus en plus dans les travaux internationaux[10].

### o. Ouverture sur des modèles de questionnaires d'acceptabilité

Pour étudier l'acceptabilité des usagers, les auteurs ont développé un questionnaire basé sur les données, axé sur les facteurs et les obstacles en vue d'une adoption de la conduite automatisée (*QAAD - Questionnaire on the Acceptance of Automated Driving*) (Weigl, et al. 2021).

Une étude a été réalisée, auprès de **725 répondants** (351 femmes, 374 hommes) âgés de 18 à 96 ans, dans le but de fournir des données afin de construire le modèle du questionnaire. Les résultats et les données de cette étude ont été analysés à l'aide d'une Analyse Factorielle et d'une Modélisation par Équation Structurelle.

**L'objectif de ce questionnaire est de proposer un nouveau modèle d'enquête différent de ceux utilisés jusqu'à présent dans la littérature scientifique**, notamment ceux basés des modèles TAM (*Technology Acceptance Model*) ou UTAUT (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technologie*). Ce questionnaire se veut basé sur le monde réel, basé sur des données plutôt que purement théorique. Il peut être applicable pour la recherche basée sur des enquêtes mais aussi sur l'expérience et intégrer la capacité d'enquêter sur différents problèmes spécifiques au domaine dès la conception. De plus il s'intéresse aux critères d'acceptabilité pour les véhicules automatisés en faisant la distinction entre les véhicules conditionnellement à totalement automatisés.

[10] Dans ce cadre, groupe institutionnel britannique d'organismes de services de normalisation (BSI) a publié une norme en novembre 2021 sur les modalités de formation de l'opérateur des services de transports publics automatisés : PAS 1884 :2021 - *Safety operators in automated vehicle testing and trialling – Guide*

A titre d'information, cet article traite de manière assez précise les questions de construction et de développement de questionnaires sur le sujet des véhicules automatisés avec des analyses statistiques assez précises. Néanmoins dans le cadre de ce résumé le choix a été fait de traiter uniquement les informations relatives à l'acceptation des véhicules automatisés, les analyses statistiques étant disponibles dans l'article si besoin (Weigl, et al. 2021).

**Méthode**

L'objectif de ce questionnaire est donc de mesurer les moteurs et les barrières de l'adoption ainsi que les cognitions sur l'acceptation ou la non-acception de la conduite automatisée par le public. Pour y arriver, les auteurs ont appliqué les sept étapes suivantes :

1) Cas d'utilisation : L'objectif principal de ce questionnaire (QAAD) est d'être appliqué lors d'études (quasi-)expérimentales sur simulateur de conduite de niveau 3 à 5. Ces études étant réalisées souvent dans un temps très limité, l'idée était de développer deux modèles L3 et L5 avec une version courte et une version du QAAD.
2) Littérature : Ce questionnaire s'est appuyé sur les nombreux articles utilisant des modèles d'acceptation de conduite automatisée et des modèles de questionnaires psychométriques.
3) Groupes de discussion : **Deux groupes de discussion la conduite automatisée ont été créés**. L'un composé de **cinq experts actifs sur la conduite automatisée** et l'autre de **sept participants retraités** avec une **expérience significative dans l'automobile** (ancien salarié de constructeur automobile) et un nombre de kilomètres parcourus élevé. Les groupes ont discuté sur les avantages et les inconvénients potentiels et attendus de la conduite automatisée.
4) Développement d'éléments : A l'issue des discussions, des éléments indicateurs ont été construits. **Trois facteurs secondaires potentiels ont été construits : PRO (pour les aspects positifs), CON (pour les aspects négatifs) et NDRT (pour les aspects généraux et très spécifiques).** Ces facteurs regroupent des questions liées aux croyances et intentions d'usage des véhicules automatisés avec une orientation PRO, CON ou NDRT.
5) Questionnaire : Le questionnaire a été subdivisé en cinq sections : (1) éléments obligatoire conduite automatisée L3 ; (2) éléments obligatoire conduite automatisée L5 ; (3) éléments obligatoires sur les aspects généraux conduite automatisée ; (4) quelques questions ouvertes facultatives ; (5) questions démographiques obligatoires.
6) Collecte des données et sélection des éléments : **Les données ont été collectées via une première phase pilote (avec 98 participants) suivie d'une phase principale (avec 725 participants).**

Les participants de l'étude ont été **recrutés au hasard dans toute l'Allemagne**. Ils étaient autorisés à arrêter l'enquête à tout moment sans conséquence. Environ 75 % d'entre eux ont répondu entièrement à l'enquête. La durée de l'étude était comprise entre 10 et 30 minutes pour chaque participant. Outre les questions d'intention d'usage de véhicules automatisés, des questions démographiques ont été posées du type : revenu net du ménage, expérience de conduite, kilométrage annuel, transports publics.

**Résultats**

L'analyse statistique des résultats du questionnaire nous apporte quelques informations sur les croyances et intentions d'usage des répondants en vue d'une acceptation des véhicules automatisés.

Concernant les facteurs PRO, CON et NDRT décrit précédemment, des scores d'acceptation globale (*Overall Acceptance Score – OAS*) ont été calculés. Ces scores sont la somme des scores des résultats des questions d'acceptabilité pour les ces trois facteurs. A titre d'exemple pour le facteur PRO, un score a été calculé sur la question *« I believe that fully automated vehicles will increase safety in road traffic* ». De même pour le facteur CON sur la question *« I would be concerned about safety, if I drove a fully automated vehicle ».* Les répondants ont répondu sur une échelle de Likert de 0 à 10 (avec 0 = « je suis entièrement en désaccord » et 10 = « je suis entièrement d'accord »). Plusieurs questions ont été posées pour chacun des trois facteurs. Deux versions du questionnaire, une version courte et une longue ont été construites pour les véhicules de niveau L3 et pour les véhicules de niveau L5.

Il **en ressort, des scores d'acceptation globale** (OAS) L3 et L5 avec des corrélations positives avec le sexe (les hommes rapportent des valeurs plus élevées que les femmes). De plus, les personnes déclarant des valeurs élevées d'OAS pour les véhicules de niveau L3 rapportent également des valeurs sensiblement plus élevées. Les individus intéressés par les véhicules de niveau L3 sont donc également très intéressés par ceux de niveau L5.

Si l'on regarde plus en détails, les résultats des différentes questions, on peut constater que les répondants sont assez réticents avec l'idée d'acheter un véhicule automatisé de niveau L3 et un véhicule automatisé de niveau L5 (avec un score de 4.24 et 3.68 respectivement). En outre, **ils sont assez d'accord avec le fait que le nombre de décès pourrait diminuer avec le progrès technique de ces nouveaux véhicules avec un score de 7.25.**

Le développement de ce nouveau questionnaire QAAD adapté pour les véhicules automatisés de niveau L3 et de niveau L5 offre de nouvelles perspectives pour les chercheurs. **Les chercheurs pourront choisir librement les versions courtes ou longue et adapter le niveau d'automatisation en fonction du type de véhicule à l'étude.**

Pour conclure, si le QAAD est appliqué correctement, des informations futures sur plusieurs facteurs cruciaux sont attendues, inobservables et cachées (latentes) des moteurs et des barrières de l'acceptation ou de la non-acceptation potentielle des véhicules automatisés.

L'article suivant s'intéresse aux critères d'adoption des véhicules automatisés et partagés, notamment sur des caractéristiques concernant la planification des voyages à travers le choix de l'heure de départ et le choix du mode (Susilawati et Teik Seng Lim 2021). Pour analyser ces choix, leurs auteurs de cette étude ont mené des enquêtes sur les préférences révélées (RP) et les préférences déclarées (SP).

A titre de remarque, cet article est très complet en termes de méthode, de construction d'enquête et d'analyses statistiques. Tout n'a pas été détaillé ici car l'intérêt est encore une fois porté sur l'acceptabilité des usagers plus que sur les techniques d'enquêtes et modèle utilisés. De plus, un travail complémentaire a été mené par le LAET, dont la note est fournie en plus de ce travail précisément sur les intentions d'usage et les préférences déclarées. **Le choix a été porté sur la méthodologie globale suivi par l'étude et sur la présentation des résultats les plus pertinents en termes d'acceptabilité des usagers.**

**Méthodologie**
Dans cette étude, un mélange d'enquête RP et SP a été développé. L'enquête RP a été conçue pour aider à collecter les caractéristiques socio-économiques des voyageurs, les motifs du voyage et les informations relatives aux voyages récents tandis que l'enquête SP a aidé à évaluer l'effet de la planification des voyages et des attributs de service de VA partagés sur le choix du mode.

**Préférence révélée (RP)**
L'enquête RP comporte différentes sections dans le but de comprendre les informations suivantes :

- Les caractéristiques sociodémographiques des répondants
- Les connaissances sur la technologie moderne des répondants
- La familiarité sur trois types de services de mobilité : services de transport à la demande, véhicules automatisés, véhicules automatisés et partagés
- Le modèle de déplacement des répondants

**Préférence déclarée (SP)**
L'enquête SP a été conçue pour comprendre le mode et l'heure de départ préférés du voyageur afin de minimiser le temps de déplacement et l'heure d'arrivée préférée sur les lieux de travail. A l'aide de modèle

de trafic VA, trois scénarios avec quatre modes de transport (conduite manuelle, utilisation de services de transport à la demande, utilisation de transports en commun et utilisation des VA partagés) ont été conçus.

**Répondants**

Les participants aux enquêtes RP et SP ont reçu des informations sur l'objectif de l'enquête et le droit de se retirer à tout moment. Les données ont été collectées à l'aide d'une méthode d'échantillonnage aléatoire à **Kuala Lumpur en Malaisie**. Au total, **161 réponses ont été utilisées pour l'analyse des données**. Concernant les caractéristiques générales des personnes interrogées, l'échantillon était composé de 92 hommes (57,1%) et de 69 femmes (42,9%) avec un âge moyen de 34,2 ans.

**Résultats**

Pour évaluer la sensibilisation des répondants aux VA partagés, les questions sur la technologie des VA et les services de mobilité des VA partagés ont été présentées dans l'enquête RP. 25 % des personnes disposent de fonctionnalités automatisées (du type maintien dans la voie ou stationnement automatisé). Les répondants étaient prêts dans l'ensemble à adopter les deux à l'avenir.

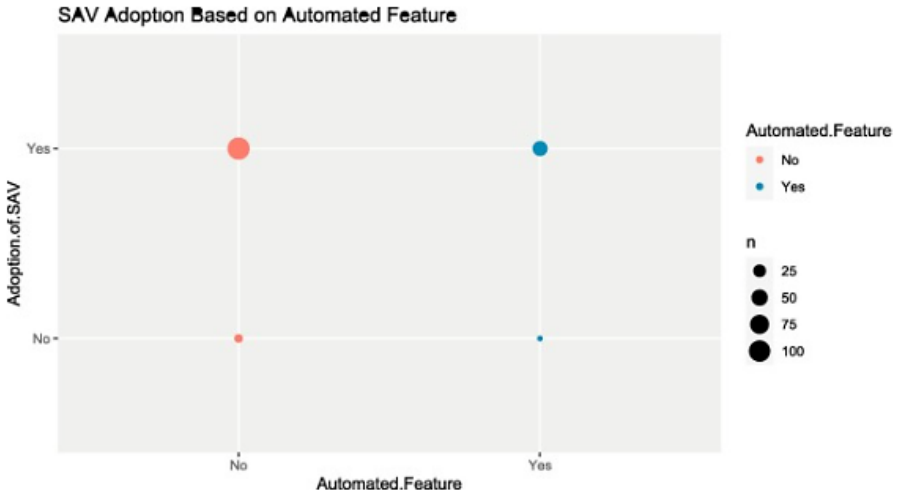



*Figure 38 : Adoption des VA partagés et fonctionnalité automatisée*

Source : (Susilawati et Teik Seng Lim 2021)

Le **questionnaire s'est intéressé au lien entre les préférences d'adoption de technologie moderne et les préférences d'adoption de VA partagés**. Les résultats suggèrent que la majorité des personnes interrogées, peu importe les niveaux de préférence des technologies modernes, sont désireuses d'adopter les VA partagés à l'avenir.

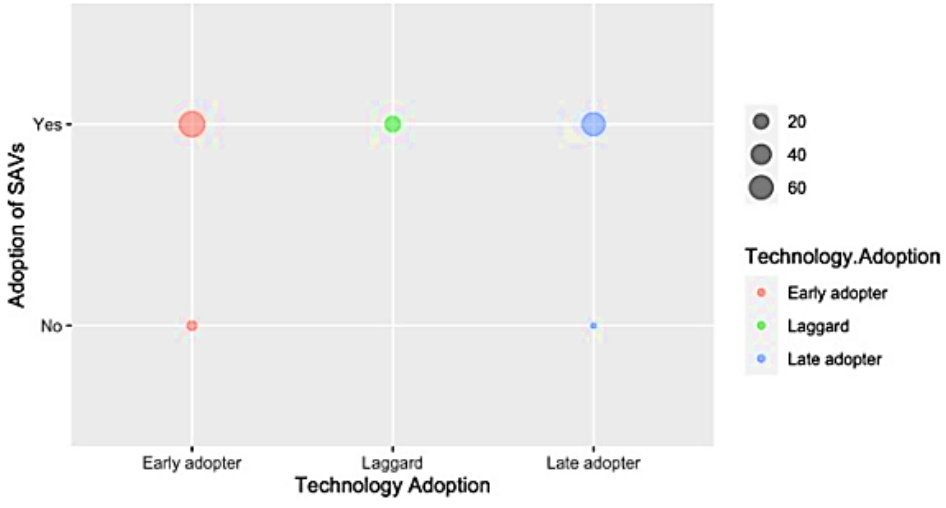



*Figure 39 : Adoption du VA partagé et adoption de la technologie*

Source : (Susilawati et Teik Seng Lim 2021)

Si l'on s'intéresse à l'intention d'adopter des VA partagés en fonction des motifs de trajet, un certain nombre de résultat sont disponibles. Tout d'abord, **environ 45 % des répondants ont suggéré qu'ils utiliseraient les VA partagés lorsqu'ils sortiraient pour prendre un repas**. Uniquement 16 % des répondants les utiliseraient pour des activités commerciales.

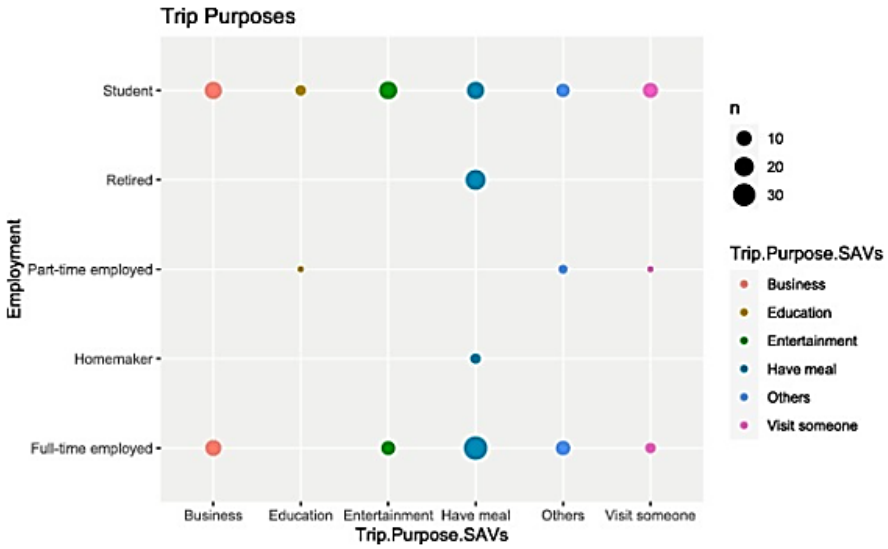



*Figure 40 : Intention d'usage des VA partagés en fonction des motifs de trajets*

Source : *(Susilawati et Teik Seng Lim 2021)*

La figure suivante XX montre la relation entre le groupe d'âge et l'adoption des VA partagés. On peut voir que la catégorie 20-29 ans est la plus intéressée à adopter des VA partagés.

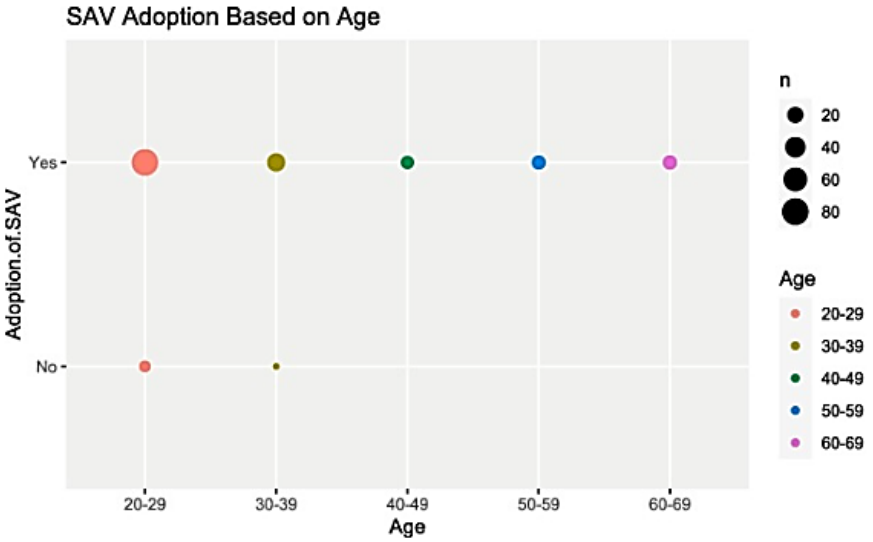



*Figure 41 : Intention d'usage des VA partagés en fonction de l'âge*

Source : *(Susilawati et Teik Seng Lim 2021)*

**Résultats analyses statistiques :**

Les **résultats montrent que les voyageurs sont plus sensibles au temps de marche qu'au temps de trajet et au temps d'attente, ce qui suggère que les voyageurs sont prêts à attendre plutôt qu'à marcher**. Il semble alors plus efficace, pour encourager les gens à envisager d'adopter des VA partagés à l'avenir, de réduire ou supprimer complètement le temps de marche que de réduire le temps d'attente et le temps de déplacement dans le véhicule.

Les résultats suggèrent aussi que plus de 50 % des répondants ont choisi le VA partagé, qui a moins de temps de déplacement que les autres modes**. Les usagers semblent plus préoccupés par l'incertitude du temps de trajets.**

En conclusion les résultats de cette enquête sur des répondants résidant à Kuala Lumpur en Malaisie montrent que les plus jeunes sont plus susceptibles d'adopter les VA partagés. De plus, concernant leur adoption, les voyageurs sont plus sensibles au temps de déplacement et de marche qu'au temps d'attente. Enfin, une augmentation du temps de marche des VA partagé et une réduction du temps d'attente des VA partagé réduisent respectivement la probabilité d'utiliser des VA partagés.

Les résultats sur l'acceptabilité des usagers sont à mettre au regard d'autres aspects qui se présentent comme un levier de l'acceptabilité globale des VA par les usagers. **En particulier, la familiarisation des usagers sur ces systèmes a un impact sur le niveau de confiance des usagers**. Ainsi, les travaux mettant en scène des simulations et des expérimentations en environnements contrôlés, sur piste ou en situations réelles admettent que les participants, grâce à des évaluations avant et après les mises en situations, ont des modifications significatives du niveau de confiance. Dans la plupart des cas pour les usagers novices, certaines situations permettent au niveau de confiance d'augmenter en familiarisant les conducteurs avec le système. Dans d'autres situations en revanche, la prise en compte et la prise de conscience des limites des systèmes aboutit à une modération du niveau de confiance. Un des objectifs majeurs de la sensibilisation des usagers par ce genre de mises en situations est ainsi de rétablir un niveau de confiance équitable et adapté aux performances des systèmes.

La partie suivante s'attache à présenter des premiers états des lieux des travaux et des réflexions sur les sujets de l'information d'une part et de la formation d'autre part.

## Synthèse formation et information du conducteur

Sur la partie information et formation du conducteur, cette note bibliographique traduit de la diversité des travaux déjà réalisés sur ce volet dans le monde académique. C'est un sujet qui est émerge du fait de l'augmentation du niveau d'automatisation des véhicules automatisés et, à plus court terme, des nouveaux dispositifs d'aide à la conduite.

Cette revue de littérature n'est pas exhaustive mais tente de faire un état des lieux des premières réflexions partagées par la communauté scientifique, dont la production est largement portée par les chercheurs des Pays-Bas. Les conclusions de cette revue de littérature sont les suivantes :

- L'état des pratiques actuelles en termes d'informations sur les dispositifs achetés par les consommateurs n'est pas vanté étant donné que la plupart ne reçoivent aucune information sur les dispositifs qui équipent leurs véhicules. De plus, les vendeurs dans les concessions admettent ne pas estimer recevoir les informations nécessaires et suffisantes pour être en mesure d'informer les acheteurs. Le temps dédié à cette étape à l'achat est de plus jugé trop faible.
- Le conducteur doit être perçu comme un participant actif du système global dans la mesure où à ce jour, il ne s'agit pas tant d'activer ou de désactiver un module mais d'être en capacités de reprendre la main à n'importe quel moment.
- Dans ce sens, l'information et la formation du conducteur participent à l'amélioration du niveau de confiance ou du moins au rétablissement à un niveau de confiance en adéquation avec les performances réelles et les limites des systèmes.
- L'information ne suffit plus pour estimer que les conducteurs maîtrisent les véhicules et en particulier sont en capacité de reprendre le contrôle. La pratique doit accompagner la théorie.
- La maîtrise des systèmes d'automatisation passe par un processus de familiarisation qui inclut une mise en situation, que ce soit à bord d'un simulateur ou encore en conditions réelles sur piste ou sur route ouverte, pour l'instant selon les protocoles du magicien d'Oz par exemple.
- De manière générale, la formation a des effets positifs et réels sur les performances et la qualité de reprise en main des usagers. De plus, la réalité virtuelle, par le niveau d'interaction qu'elle apporte, a des conséquences positives, contrairement à des modules plus simplistes ou encore à un manque d'informations.
- Le contenu de la formation est également un levier pour la maîtrise des systèmes. Les modules plus interactifs et nouveaux sont préférés et plus performants que les cours sur support classiques.
- Les études montrent que les compétences acquises en simulateur sont transférables à la mise en situation en conditions réelles, ce qui est une hypothèse forte de validité des modèles.
- Des travaux sont en cours afin de concevoir des nouveaux modules de formation pour le conducteur qui permettent d'avoir le bagage nécessaire pour conduire des véhicules équipés d'ADAS et plus généralement des véhicules automatisés, qui soient conformes et à moindre coût.
- La question du déploiement et de la généralisation de ces modules et protocoles de formation n'est pas encore répondue et très peu abordée.

# II. Information et formation du conducteur

Cette partie s'intéresse plus expressément à la notion de formation des conducteurs et des usagers des véhicules automatisés. Bien que les notions d'information et de formation soient bien distinctes et méritent de réfléchir à une potentielle hiérarchisation des différents systèmes automatisés, notamment sur le niveau d'automatisation et les capacités de ces systèmes (Ministère de l'Intérieur, Délégation à la Sécurité Routière 2021), les études qui se penchent sur les aspects liés à la l'usage et aux besoins de compétences travaillent directement sur le concept de formation.

Cette note bibliographique fait écho à la fois à l'enquête acceptabilité réalisée par Harris pour le compte de la DGITM dans laquelle une section a été consacrée aux aspects de l'information et de la formation du conducteur et à la fois au travail suscité du groupe de travail Conduite et véhicule automatisé, piloté par la Délégation à la sécurité routière (DSR) et dont le rapport est en cours de publication. Dans cette note, nous ne revenons ni sur l'enquête acceptabilité, ni sur le rapport de la DSR mais nous nous intéressons à présenter des travaux sur les aspects de formation afin de compléter et enrichir nos connaissances du sujet.

## *4.* Introduction d'une formation spécifique pour les conducteurs de véhicule équipés d'aides à la conduite

L'idée d'une formation qui pourrait être dispensée aux conducteurs de véhicules automatisés et donc plus généralement à tous les usagers susceptibles de conduire un véhicule équipé d'un système de conduite automatisée, émerge de plus en plus dans la littérature du fait de la complexité de ces systèmes et du caractère nouveau qu'ils ont. La partie suivante présente des premiers travaux de recherche sur cet aspect et tente de poser des prérequis à d'éventuels travaux plus ciblés sur la formation des conducteurs.

Avant de commencer une revue bibliographique des travaux réalisés précisément sur la formation et sur les besoins en formation pour les conducteurs avec l'arrivée des véhicules automatisés et plus particulièrement pour l'instant des véhicules équipés d'ADAS (ACC, ALKS par exemple), il paraît intéressant de présenter une étude qui cherche à cibler le niveau d'information des conducteurs actuels à l'achat d'un véhicule équipé d'un dispositif d'aide à la conduite (A. Boelhouwer, A. van den Beukel, et al., How are car buyers and car sellers currently informed about ADAS? An investigation among drivers and car sellers in the Netherlands 2020).

Deux études nationales ont été réalisées aux Pays-Bas afin de comprendre le niveau d'informations disponible et transmis à l'achat d'un véhicule équipé d'un dispositif. La première étude a été distribuée aux membres de l'association néerlandaise ANWB qui ont acheté un véhicule dans les deux dernières années, plus large association des Pays-Bas notamment concernant le transport et la circulation. Le but était de comprendre comment les acheteurs étaient informés sur les dispositifs à l'achat d'un véhicule. La seconde étude a été distribuée parmi les concessionnaires automobiles de marques et indépendants auprès de BOVAG, grande organisation commerciale néerlandaise pour les revendeurs de mobilité. Dans ce cas, l'objectif était de comprendre comment les vendeurs étaient informés et formés sur les derniers ADAS disponibles aux Pays-Bas. Les résultats ont été analysés séparément d'abord, puis de manière comparative dans un second temps. Ces travaux ont pour objectif d'avoir une compréhension complète du niveau d'information des acheteurs mais aussi des vendeurs de véhicules équipés d'ADAS afin de pouvoir par la suite développement des directives et des modèles de formation standardisés.

**Etude auprès des consommateurs**
**Méthode**
L'étude a été déployée en **janvier 2019 à une sélection aléatoire des membres de l'ANWB**. Au total, **713 participants** ont répondu au questionnaire (environ 10 min) en entier et sur ce panel, 49 % avaient acheté un véhicule neuf au cours des deux dernières années et 51 % un véhicule d'occasion. L'âge moyen des répondants était de 59 ans avec 82 % d'hommes. Le questionnaire était constitué de plusieurs parties. Tout d'abord, les profils des consommateurs en termes d'achat de marque, de modèle, de série ont été dressés.

De plus, les dispositifs actuellement disponibles sur le marché ont été présentés afin de savoir si leur véhicule en était équipé. La deuxième section s'est intéressé aux informations que les acheteurs ont reçu à l'achat du véhicule, que ce soit sur le contenu et le mode de transmission. Ils ont aussi été interrogés sur leur expérience personnelle pendant cette transmission d'informations. Puis les participants ont répondu au raisons qui les poussaient à chercher des informations sur les dispositifs d'aide à la conduite.

64 % des acheteurs ont acheté un véhicule conçu après 2016, de marques Opel, Renault, Peugeot et Ford en majorité. De plus, 88 % des répondants ont déclaré utiliser une voiture comme premier mode de déplacement. Par ailleurs, 59 % ont déclaré être intéressé ou très intéressé par les nouvelles technologies et 62 % être intéressé par les nouvelles technologies dans les véhicules.

En ce qui concerne les équipements disponibles dans les véhicules, 93 % étaient équipés du régulateur de vitesse alors qu'uniquement 2 % avaient le changement de voie automatique. En outre, la proportion d'usagers équipés d'ACC était plus faible avec seulement 23 %, du maintien dans la voie 24 %. Les 713 participants avaient au moins un dispositif dans leur véhicule. 89 % des participants ont reçu leur véhicule chez le concessionnaire directement, les 10 % restant ayant soit acheté directement leur véhicule chez un particulier, soit dans la boutique officielle du constructeur, soit par d'autres moyens en marge.

**Résultats**

Concernant l'utilisation des ADAS disponibles dans les véhicules, le régulateur de vitesse adaptatif est le dispositif le plus utilisé par les conducteurs (75 %), tandis que les systèmes de contrôle latéral tels le maintien dans la voie ou le changement de voie automatique sont utilisés à 60 %. De plus, ces dispositifs sont couramment employés par le conducteur lorsqu'il les possède, à noter que seulement 13 conducteurs étaient équipés du changement de voie automatique. En revanche, le système de stationnement automatique est globalement moins utilisé.

**Prêt d'un quart des participants (24 %) n'a reçu aucune information à l'achat sur aucun système.** Une différence a été remarquée entre les acheteurs de véhicules neufs et les acheteurs de véhicules d'occasion puisque 14 % des premiers n'ont reçu aucune information sur les dispositifs automatisés contre 34 % pour les seconds.

Parmi les participants dont le véhicule contenait à l'achat l'un des cinq dispositifs mentionnés précédemment (régulateur de vitesse, régulateur adaptatif de vitesse, maintien dans la voie, changement de voie automatique et stationnement automatique), le tableau suivant montre les résultats.

| *Je n'ai reçu aucune information sur :* | Véhicule neuf | Véhicule d'occasion | Total |
|---|---|---|---|
| Le régulateur de vitesse ($N_{total}$ = 664, $N_{neuf}$ = 310, $N_{occasion}$ = 354) | 82 (27%) | 141 (40 %) | 223 (34 %) |
| Le régulateur adaptatif de vitesse ($N_{total}$ = 161, $N_{neuf}$ = 119, $N_{occasion}$ = 42) | 28 (24 %) | 13 (31 %) | 41 (26 %) |
| Maintien dans la voie ($N_{total}$ = 173, $N_{neuf}$ = 145, $N_{occasion}$ = 28) | 41 (28 %) | 9 (32 %) | 50 (29 %) |
| Changement de voie automatique ($N_{total}$ = 13, $N_{neuf}$ = 10, $N_{occasion}$ = 3) | 4 (40 %) | 2 (67 %) | 6 (46 %) |
| Stationnement automatique ($N_{total}$ = 139, $N_{neuf}$ = 94, $N_{occasion}$ = 45) | 24 (26 %) | 17 (38 %) | 41 (30 %) |

*Tableau 3: Tableau présentant les proportions de participants à l'étude n'ayant pas reçu d'information sur les dispositifs présents dans leur véhicule à l'achat*

*Source : (A. Boelhouwer, A. van den Beukel, et al., How are car buyers and car sellers currently informed about ADAS? An investigation among drivers and car sellers in the Netherlands 2020)*

De manière générale, des fortes proportions d'usagers ont déclaré ne pas avoir été informés sur les systèmes les plus basiques (régulateur de vitesse 46 % et régulateur adaptatif de la vitesse 49 %).
7 % des acheteurs ont aussi refusé des informations de la part du concessionnaire car les dispositifs en question étaient déjà présents dans le véhicule précédent et qu'ils avaient déjà pu faire l'expérience de ce système. Une petite portion a refusé les explications car voulant faire l'expérience eux-mêmes du dispositif, qu'ils n'y étaient pas intéressés ou bien qu'ils avaient connaissance des technologies en général.

Par ailleurs, le moment de réception des informations a pu être différent entre le moment de contact avant l'achat (33 %) et le moment de l'achat effectif (33 %). Certains ont été informés du dispositif pendant les deux périodes (34 %).

Au niveau du contenu de l'information, tous les participants ayant reçu des informations sur au moins l'un des systèmes présentés a été interrogé, soit 453 répondants. **56 % des répondants ont reçu de vastes explications sur le système et comment utiliser le système lui-même (56 %). Les limites du système aussi bien que le fonctionnement plus technique ont été décrits de manière très détaillée pour respectivement 40 % et 41 % des usagers**. Pour 10 % des acheteurs par ailleurs, le fonctionnement et les limites du système n'ont pas été beaucoup abordés contre 1 % qui affirme ne pas avoir du tout été informé sur ces aspects.

Enfin, sur le mode de diffusion des informations, **les participants ont déclaré pour la majorité avoir reçu des déclarations orales du vendeur avec des références directes au manuel utilisateur (87 %).** Il est intéressant de noter que seulement 9 % des acheteurs ont pu tester ces dispositifs en conditions réelles avec le vendeur et uniquement 1 a reçu une formation officielle à la fois théorique et pratique. Une analyse plus fine des réponses (questionnaires à choix multiples) permet d'isoler les combinaisons sur les moyens de diffusion. Ainsi, **51 % ont uniquement reçu des informations orales du vendeur et 11 % ont eu en plus une référence au manuel utilisateur**.

Les acheteurs ont aussi pu s'informer par leurs propres moyens sur le fonctionnement du/des dispositifs présent(s) dans le véhicule. Dans 70 % des cas, une lecture papier du manuel a été réalisée, dans 30 % des cas une recherche sur Internet leur a permis de prendre en main le système et dans 30 % des cas également grâce au manuel numérique. Dans la mesure où les réponses étaient là aussi multiples, 29 % ont uniquement lu le manuel. 10 % ont aussi posé des questions au vendeur, 8 % ont cherché des informations complémentaires sur internet et 7 % ont regardé le manuel numérique.

Enfin sur la satisfaction des usagers sur les informations transmises par le concessionnaire ou le vendeur, **76 % ont déclaré être satisfaits ou très satisfaits, contre 18 % d'avis neutre et 6 % d'avis négatifs.** Cependant, une différence notable se remarque entre les acheteurs de véhicules neufs et d'occasion. En effet, 62 % des acheteurs de véhicules d'occasion se déclarent très satisfaits ou satisfaits alors que seulement 50 % des acheteurs de véhicules neufs le sont. **A l'inverse, 14 % seulement des acheteurs d'occasion se déclarent non satisfaits contre 26 % des acheteurs à neuf**. Les aspects positifs de l'étape d'information ont été à la fois des explications claires et précises et une durée suffisante à la délivrance de ces informations. Des aspects particulièrement peu appréciés ont été des déclarations particulièrement floues et trop nombreuses.

**Etude auprès des vendeurs et concessionnaires**
**Méthode**
Une étude en ligne (questionnaire d'une dizaine de minutes environ) a été déployée auprès des membres des **concessions officielles de voitures de marque et des concessions indépendantes en juillet 2019**. Les réponses deux publics interrogés ont été analysées séparément car les ressources disponibles pour les différents concessionnaires ne sont pas forcément les mêmes. Les vendeurs de véhicules uniquement ont été interrogés avec une contrainte supplémentaire : ils devaient vendre des véhicules âgés de moins de 12 ans. **Ainsi 336 réponses ont été analysées**, dont 141 issus de concessions officielles et 195 de concessions indépendantes. L'âge moyen était de 48 ans avec 98 % de répondants masculins.

Le questionnaire s'est déroulé en plusieurs parties. Tout d'abord, les usagers ont dû répondre au niveau de formation qu'ils avaient eux-mêmes reçu à propos des derniers ADAS. Ces questions comprenaient aussi bien la quantité d'informations, que le format et le contenu reçu. Puis, il leur a été demandé s'ils se sont informés de leur côté et pourquoi ils l'ont fait. Une deuxième partie du questionnaire a été consacrée aux informations qu'eux-mêmes transmettaient lors d'une vente.

Les dispositifs dans les véhicules vendus étaient les suivants (les pourcentages de vendeurs vendant ces dispositifs sont exprimés à côté) :

- Caméras et capteurs pour une assistance au stationnement (97 %) ;
- ACC (82 %) ;
- Avertissement de franchissement de ligne blanche (80 %) ;
- Freinage d'urgence (76 %) ;
- Détection des angles morts (72 %) ;
- Maintien dans la voie (72 %) ;
- Stationnement automatique (68 %) ;
- Navigation en temps réel (68 %) ;
- Alerte aux distances de sécurité (61 %) ;
- Reconnaissance de l'état de fatigue du conducteur (61 %).

De plus, 43 % des vendeurs ont vendu des véhicules avec adaptation intelligente de la vitesse et uniquement 12 % avec présence du dispositif de changement de voie automatique.

**Résultats**

**38 % des répondants ont partagé ne pas avoir reçu suffisamment d'informations selon eux sur les différents dispositifs présents sur le marché.** Une différence est observable entre les différents types de concessions avec 9 % d'insatisfaction sur le niveau d'information reçues dans les concessions officielles contre 59 % dans les concessions indépendantes.

54 % des interrogés ont affirmé avoir été chercher des informations de leur côté indépendamment de ce qui a pu leur être transmis. Parmi eux, 54 % l'ont fait parce qu'ils jugeaient le sujet intéressant et 32 % car ils ont estimé ne pas avoir été assez informés dessus. Enfin, presque 10 % s'est renseigné par ses propres moyens car l'information reçue était selon eux pas appropriée et confuse. Encore une fois, il apparaît une différence significative entre les membres des différentes concessions : 11 % des membres des concessions officielles ont été chercher des informations car ils considéraient que l'information reçue n'était pas suffisante contre 52 % chez les concessions indépendantes. En outre, 62 % ont cherché des informations complémentaires sur des sites spécifiques, 51 % en regardant des vidéos, 48 % en lisant les manuels papiers, 41 % en demandant à des collègues, 39 % en lisant le manuel numérique et 33 % en regardant des forums sur internet.

Au niveau du mode d'administration des connaissances, **45 % ont réalisés des tests sur les dispositifs en les utilisant et 43 % grâce à une formation du constructeur**. Cet entraînement a été réalisé à 81 % chez les membres des concessions officielles contre seulement 16 % chez les concessions indépendantes. Les participants qui ont bénéficié de cette formation ont été amenés à juger la prestation. 69 % l'ont jugée bonne et 27 % insuffisante. De plus, 73 % des participants ont noté la capacité de s'exercer comme bonne ou très bonne.

Sur la question de la personne censée dispenser une telle information, les membres issus des concessions officielles pensent à 87 % que la formation doit provenir du constructeur, contre 17 % pour les membres issus des concessions indépendantes, qui pensent eux que l'information doit provenir du concessionnaire à 58 %.

Enfin, sur la formation qu'ils enseignent ensuite aux acheteurs en tant que vendeurs, **23 % affirment qu'ils n'ont pas assez de temps pour informer les acheteurs à propos des ADAS et même 27 % pensent qu'ils n'ont pas le bagage nécessaire pour le faire**. 38 % pensent aussi qu'ils ne détiennent le matériel suffisant et

21 % déclarent qu'ils n'ont déjà pas assez de temps eux-mêmes pour étudier les performances des ADAS. 57 % des vendeurs interrogés donnent systématiquement des informations sur les dispositifs présents dans le véhicule aux acheteurs tandis que 19 % ne le font que rarement ou jamais. Encore une fois, il est important de noter la différence significative entre les différentes concessions puisque chez les concessions officielles 85 % informent les acheteurs contre uniquement 36 % chez les concessions indépendantes.

Pour conclure sur ces deux études réalisées de front, il apparaît :

- A peine le quart des acheteurs de véhicules, neufs ou d'occasion, n'ont reçu aucune information sur les systèmes qu'ils s'apprêtent à utiliser ;
- Les usagers qui ont reçu des informations estiment que ce sont des basiques mais qu'aucune précision sur les limites des systèmes n'est transmise ;
- Les conducteurs prennent des informations la plupart du temps dans le manuel utilisateur ;
- 40 % des vendeurs n'ont pas reçu suffisamment d'information sur les systèmes qu'ils vendent ;
- La plupart des vendeurs n'ont pas assez de temps pour s'informer eux-mêmes sur les systèmes qu'ils vendent, ce qui a pour conséquence que 20 % d'entre eux ne donnent pas ou presque pas d'information aux acheteurs.

**Cette étude met ainsi en avant le fait que aussi bien les vendeurs de véhicules équipés d'ADAS que les acheteurs de ces véhicules ne sont pas correctement informés sur les systèmes, leur fonctionnement, leur utilisation mais aussi leurs limites et montre ainsi un fort manque sur le volet de la formation.** Alors que les vendeurs eux-mêmes ne disposent pas de suffisamment de bagage sur les ADAS qu'ils vendent, ils ne sont pas en mesure de dispenser des informations complètes et suffisantes aux potentiels acheteurs. **En vue des travaux réalisés par la suite, cette étude émet la conclusion qu'un temps de formation pratique semble être nécessaire à la prise en main des systèmes et à leur bonne utilisation.**

## *5.* Le conducteur actif du processus de maîtrise des systèmes

Le sujet de la formation et du besoin en formation peut être introduit avec un chapitre assez général (Noble, et al. 2020) et centré sur la manière de former et de concevoir la formation pour les véhicules automatisés connectés et intelligents (VACI). Cet aspect de la mobilité automatisée a encore été peu examiné, c'est pourquoi les auteurs se sont intéressés aux approches de la formation présentes dans la littérature. Ils présentent également des informations spécifiques aux facteurs liés à la formation.

### p. Introduction et justification de nouveaux besoins en formation

Le chapitre (Noble, et al. 2020) s'organise en plusieurs parties ; tout d'abord l'importance de la formation est décrite. Dans ce cadre, l'importance de l'appropriation et d'une bonne compréhension des systèmes est un prérequis afin d'éviter des mésusages qui pourraient nuire et limiter les bénéfices de la technologie. Les questions liées à la responsabilité des usagers sont également moteurs d'une formation à l'usage et répertoriés comme un des facteurs principaux de l'intérêt des usagers à la formation. Les objectifs d'une formation pour les conducteurs sont triples : **améliorer le niveau de sécurité, créer un niveau de confiance approprié de la technologie et enfin augmenter l'acceptabilité des systèmes.** De plus, **la réussite de la formation réside plus dans le développement d'une approche d'une bonne utilisation des systèmes plutôt que dans la limitation des comportements dangereux.** La confiance est ainsi un facteur important du succès des aides à la conduite (ADAS). La bonne utilisation passe également par une bonne maîtrise des capacités du système ainsi que des limites du domaine d'emploi (ODD).

Puis, la question du contenu de la formation est discutée dans une deuxième section (Noble, et al. 2020). La question de recherche sous-jacente à cette section est : *Quelles sont les différentes compétences, règles et connaissances sur lesquelles un conducteur doit être formé pour être capable e conduire en toute sécurité un véhicule doté de fonctions automatisées ?* Ainsi, **les conducteurs ne doivent pas uniquement savoir activer et désactiver le système mais avoir une connaissance accrue qui doit émaner d'un processus de formation complet**. A ce sujet, la politique fédérale sur les véhicules automatisés du Département des transports aux Etats-Unis (*Federal Automated Vehicle Policy of the United States Department of transportation)* recommande que les documents transmis contiennent non seulement des informations basiques de fonctionnement des systèmes mais également des éléments pertinents sur les niveaux d'automatisation comme les intentions des systèmes de véhicules automatisés, les ODD, les capabilités et les limites, les IHM, les scénarios et manœuvres d'urgence et les mécanismes qui peuvent altérer le comportement fonctionnel en service. La politique américaine recommande également une mise en pratique afin de s'assurer que le conducteur soit totalement conscient des capacités de son véhicule. De plus, la formation doit cibler les usages potentiels des utilisateurs et les informer des mésusages associés à leur utilisation. En ce qui concerne l'ODD, des études montrent (Noble, et al. 2020) que seulement 21 % des utilisateurs de véhicules équipés d'un système de surveillance des angles morts sont conscients de sa difficulté à détecter les véhicules à vitesse élevée. De même, 33 % des usagers qui détiennent un système de freinage automatique d'urgence ne réalisent pas que le système repose sur des caméras et des capteurs qui peuvent être altérés par des conditions météorologiques dégradées[11]. 30 % des répondants de cette même étude admettent ne pas faire attention à leurs angles morts lors d'un changement de voie lorsque leur véhicule est équipé du système de surveillance des angles morts. Ces cas montrent ainsi qu'une formation plus aboutie sur les ADAS est nécessaire car ces systèmes ne sont pas infaillibles. **En ce sens, la formation doit considérer le conducteur comme un participant actif des dispositifs d'automatisation des véhicules et non comme un usager passif.**

Une troisième partie s'intéresse aux facteurs qui relèvent aussi bien du conducteur que du système à considérer dans le développement et la conception d'une formation (Noble, et al. 2020). Cette partie est plus largement ciblée sur l'adaptation de la formation et du formateur et donc du support pédagogique à l'apprenti. **Dans cette partie, des réflexions sur les motivations de la formation et les prédispositions de l'apprenti sont présentées afin de proposer une adaptation psychologique du modèle pédagogique**. Dans le cadre du rapport bibliographique, nous ne rentrons pas dans les détails de cette partie, disponible dans la

[11] Ces données chiffrées sont basées sur une étude menée aux Etats-Unis par McDonald et al. (2018)

section correspondante (Noble, et al. 2020). Les caractéristiques émotionnelles et liées à la technologie peuvent prédire le jugement qu'en a un potentiel utilisateur.

La partie quatre propose une revue des protocoles d'entraînements aussi bien actuels que futurs pour former les usagers aux véhicules automatisés (Noble, et al. 2020). Dans ce cadre, une étude a trouvé que **53 % des conducteurs ont appris à utiliser un système au moyen d'essais et d'erreurs au moins en partie**[12]. Plus généralement, l'expérience peut améliorer les performances, mais l'apprentissage par essais et erreurs peut faire perdre du temps et peut conduire à une solution non idéale, ou peut ne jamais aboutir à une solution du tout. **C'est pourquoi la pratique uniquement n'est pas une solution viable et autoportante mais doit être accompagnée d'une formation encadrée**. Un autre apport d'information peut être apporté par le manuel de bord dans lequel figurent des explications sur l'utilisation des systèmes présents à bord du véhicule. Cependant, la compréhension qui en est faite par le lecteur dépend de sa perception et de son intention de le lire correctement, ce qui n'exclut pas des mésusages et des incompréhensions. De plus, la lecture du manuel est souvent partielle et ciblée sur des parties courtes choisies par l'utilisateur. Enfin, la **formation doit être complétée par des retours qui permettent d'avoir un jugement sur le résultat d'une action** sur le système. La présence d'un personnel qualifié pour apprendre et maîtriser une technologie et/ou un système d'aide à la conduite est nécessaire à une bonne pratique future afin de déceler les usages incorrects.

Enfin, ce chapitre conclut sur des recommandations pour la formation des systèmes VACI, dans le but que ce travail serve de fondement des travaux à venir sur le sujet formation (Noble, et al. 2020). Celles-ci s'appuient sur la grande variabilité des conducteurs présents sur les routes ainsi que sur les limite des systèmes de VACI.

i. Les domaines de formation doivent rester dynamiques étant donné que les ADAS/ADS continuent à se développer ;
ii. Les considérations relatives à la formation des utilisateurs devraient être incluses en tant que point clef de cycle de conception de ces nouveaux systèmes ;
iii. Les systèmes de surveillance du conducteur embarqué peuvent être une option importante à considérer pour la formation ;
iv. Les professionnels de la sécurité doivent développer des directives de formation et de procédures pour ces nouveaux systèmes ;
v. Des mesures modifiant les définitions législatives et réglementaires des termes applicables (par exemple, conducteur, véhicule) ainsi que la révision et l'adaptation des règles existantes concernant le fonctionnement des véhicules peut être un défi persistant dans le champ de la formation.

## q. L'information ne suffit plus à la maîtrise des systèmes de conduite automatisée

L'étude présentée ci-dessous cherche à savoir si les modèles actuels de transmission des informations par le biais des manuels de bord sont suffisamment adaptés aux capacités nécessaires chez les conducteurs au regard des capacités du véhicule (A. Boelhouwer, A. van den Beukel, et al., Should I take over? Does system knowledge help drivers in making take-over decisions while driving a partially automated car 2019).

Au vu des remarques évoquées dans la thèse précédente en conclusion, **cette étude permet de mesurer l'apport de l'information en divisant le panel de participants en deux : certains ne recevant aucune information sur le système tandis que le second reçoit des informations spécifiques sur les fonctionnalités et les limites du système**.

**Méthodologie**

Cette étude a été réalisée sur 28 participants (18 hommes et 10 femmes), âgés de 38 ans en moyenne. Les participants ont été répartis équitablement dans deux groupes comme explicité précédemment. Chaque participant a pris place dans **un simulateur pour vivre une expérience de conduite automatisée en environnement urbain**. Un bouton leur a permis à tout instant de signaler si selon eux le véhicule n'était plus

[12] Cette donnée provient de l'étude de Abraham, Reimer et al. (2017)

en mesure de faire face à la situation rencontrée et si en conditions réelles ils auraient repris le contrôle du véhicule. **Ainsi chacune des situations présentées a été catégorisée soit dans « aurait mérité une reprise en main », soit « n'aurait pas mérité de reprise en main ».**

L'expérience a été réalisée dans un simulateur dans lequel des situations filmées préalablement ont été projetées aux participants, pour plus d'immersion dans chacune d'entre elles. Les situations présentées aux deux groupes ont été basées sur des situations possiblement rencontrées avec des véhicules correspondant au niveau d'automatisation disponibles sur le marché dans quelques années. Les scénarios ont été réalisés en conduite manuelle et des mesures de réduction du style de conduite ont été mises en place pour limiter les biais liés à la conduite manuelle. **Le véhicule était capable de conduire en mode totalement automatisé en aire urbaine, mise à part certaines situations dans lesquelles l'intervention du conducteur était requise**.

Avant de réaliser l'expérimentation, les usagers ont dû remplir un questionnaire sur leur utilisation de la voiture, sur leurs préférences de déplacement et sur leurs comportements à bord d'un véhicule sur une échelle de Likert de 1 à 5. Pour le groupe qui a reçu des informations sur le système avant la phase de test, un questionnaire de connaissance lui a été distribué afin de vérifier leur bonne compréhension des indications. La phase d'explications pour le groupe 2 a duré environ 15 min. Dans les deux groupes, les participants ont été avertis que le véhicule ne pourrait plus assurer la conduite dynamique si :

- Le code de la route doit ne pas être respecté ;
- Le véhicule ne peut pas continuer sur la route prédéfinie ;
- Le véhicule ne peut pas éviter une collision.

Ainsi, 23 vidéos ont été présentées aux participants dans un ordre aléatoire. Les chercheurs ont classé les scénarios avant diffusion entre les deux catégories : « besoin de reprise en main » (8) et « pas besoin de reprise en main » (15), en fonction du domaine d'emploi du véhicule. Les 23 scénarios ont été choisis par rapport à **7 domaines : tâche stratégique, navigation, surveillance de la route, contrôle de la vitesse, gestion du trafic, respect du code de la route et manœuvres**. Au moins 2 scénarios par tâche ont été choisis et certains peuvent couvrir plusieurs tâches en même temps. Chaque scénario dure entre 30 et 90 s. Tous les scénarios ont été enregistrés sur et autour du campus de **l'Université de Twente aux Pays-Bas.**

Après chaque scénario, les participants ont été invités à expliquer leur choix. Les réponses ont été analysées qualitativement afin de savoir qu'est-ce qui motive les participants à reprendre le contrôle du véhicule.

**Résultats**

Plus de la moitié des participants (64 %) ont indiqué avoir une opinion positive ou très positive du véhicule automatisé tandis que 32 % ont indiqué avoir un avis neutre et 1 participant (sur 28) a déclaré avoir une vision négative des VA. En outre, 93 % des participants ont indiqué être intéressés un minimum par les VA tandis que le reste est neutre. Pour la première expérience de conduite, 18 % ont déclaré avoir peur ou très peur, 32 % sont neutres et 50 % n'ont pas peur. Sur ces questions, une étude statistique a montré qu'il n'y avait aucune différence significative entre les deux groupes.

Le questionnaire distribué au groupe 2 sur la compréhension des informations reçues a eu une moyenne de 92 sur un total de 100 où la moitié des participants ont eu 100 points.

Au total **556 décisions ont été enregistrées**. Des différences assez marquées entre les participants ont été relevées dans les choix d'intervenir ou non. De même, dans les scores finaux, une variance importante a été enregistrée avec un score maximum de 90 % contre un score minimum de 42 %. Le score représente le total de bonnes réponses sur la décision de reprise en main ou non par rapport à l'ensemble des situations visualisées. **Le groupe 2 qui a reçu des informations sur les systèmes a eu en moyenne des résultats significativement meilleurs (73 % de réussite) que les participants du groupe 1 (69 %).**

Le graphique ci-dessous présente les scénarios en fonction de la nécessité ou non de reprise en main et le pourcentage de bonne réponse par les participants.

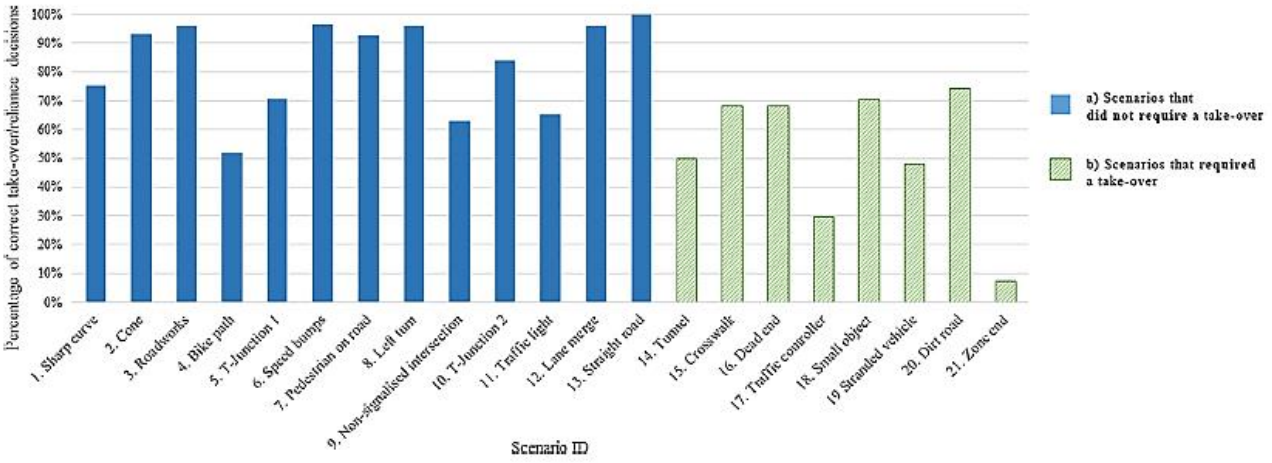



*Figure 42: Pourcentages de bonnes réponses pour 21 scénarios*

*Source : (Sportillo 2019)*

*Les scénarios sont les suivants :*

1. *Virage serré, pas d'intersection, pas de trafic, le véhicule ralentit à 30 km/h avant d'entrer sur le virage.*
2. *Ligne droite, pas d'intersection, pas de trafic, présence d'un cône de signalisation au milieu de la voie, le véhicule effectue un dépassement.*
3. *Zone de travaux, pas d'intersection, passage de 80 km/h à 50 km/h indiqué par signalisation, la vitesse du véhicule se réduit automatiquement à 50 km/h.*
4. *Ligne droite avec une voie cyclable prioritaire traversant la voie principale, le véhicule ralentit et s'arrête pour céder le passage à deux cyclistes.*
5. *Tourne à gauche à une intersection en T d'une voie prioritaire vers une voie non prioritaire, arrivée d'un cycliste prioritaire, le véhicule s'arrête et cède le passage au cycliste.*
6. *Ligne droite à 60 km/h avec deux dos d'âne, pas d'intersection, pas de trafic, le véhicule circule à 60 km/h.*
7. *Ligne droite, pas d'intersection, un piéton marchant sur le côté droit de la chaussée, le véhicule contourne le piéton.*
8. *Tourne à gauche sur portion à 60 km/h, une voiture a la priorité, le véhicule s'arrête pour laisser passer la voiture.*
9. *Ligne droite, intersection non signalée, une voiture à l'approche par la droite et a la priorité, le véhicule s'arrête et cède le passage à la voiture puis continue tout droit.*
10. *Tourne à gauche à une intersection en T d'une voie non prioritaire vers une section prioritaire, trois voitures approchent de la droite et ont la priorité, le véhicule s'arrête et cède le passage aux trois véhicules.*
11. *Carrefour à feux qui passent au rouge avant l'arrivée du véhicule, le véhicule s'arrête et continue tout droit après le passage au vert.*
12. *Ligne droite avec fusion de la voie avec la voie adjacente, pas de trafic arrivant, le véhicule se décale sur la voie adjacente avant la fin de la voie.*
13. *Ligne droite à 60 km/h, pas d'intersection, pas de trafic.*
14. *Ligne droite dans un court tunnel, le véhicule sort de sa voie car a des difficultés à se repérer dans la voie.*
15. *Ligne droite avec un piéton ayant l'intention de traverser sur un passage pour piétons, le véhicule ne détecte pas le marquage du passage pour piétons et ne s'arrête pas pour laisser passer le piéton.*
16. *Ligne droite dans une voie sans issue, le véhicule ralentit, s'arrête et ne se retourne pas.*

17. *Ligne droite, pas d'intersection, un agent de circulation indique au véhicule de s'arrêter, le véhicule ne reconnaît pas les gestes de l'agent et continue tout droit.*
18. *Ligne droite, pas d'intersection, pas de trafic, un petit objet se trouve sur la voie du véhicule qui ne détecte pas cet objet trop petit et roule dessus.*
19. *Ligne droite, pas d'intersection, pas de trafic, un véhicule d'urgence bloque la voie avec ses signaux lumineux, à cause de la ligne blanche continue, le véhicule ne peut pas dépasser et rester derrière le véhicule.*
20. *Une chaussée propre et entretenue se poursuit en une chaussée sale et de mauvaise qualité, pas d'intersection, pas de trafic, le véhicule ne détecte pas le changement d'état de la chaussée et pense que la route est terminée, il s'arrête.*
21. *Ligne droite qui passe de 50 km/h à 80 km/h, signalé par une fin de zone résidentielle, le véhicule détecte uniquement un panneau standard de signalisation et continue à 50 km/h.*

L'analyse qualitative des résultats ne montre pas de grande différences entre les deux groupes dans les explications données sur la motivation de reprise en main ou non, bien que le groupe 2 exploite plus aisément le choix par des considérations techniques sur le fonctionnement du véhicule. Par ailleurs, **que les participants aient reçu ou non des informations préliminaires sur le système, certains ont été parfois surpris des capacités du système** (par exemple de voir que le système est capable de s'arrêter au feu rouge). Enfin, **la connaissance des limites des capacités du véhicule n'est pas suffisante à réagir correctement face aux différentes situations** et notamment face à la présence de petits obstacles non détectés par le véhicule. Dans ce cas, certains participants n'ont pas agi car ils n'ont pas réussi à estimer la taille de l'objet par rapport à leur connaissance des capacités du système.

Pour conclure, cette étude montre tout d'abord **qu'une information dispensée aux conducteurs avant la phase de test n'est pas suffisante à prendre la bonne décision** d'intervenir ou non. Dans certains cas qui reprenaient textuellement les limites des capacités des systèmes, le choix n'a pas été évident. En outre, les **participants ont été parfois surpris de constater les capacités du système qui leur avaient pourtant été décrites précédemment** (pour ceux ayant reçu des indications/informations sur le système). De plus, **dans des situations critiques de reprise en main, les usagers n'ont pas repris la main dans les temps** (dans l'un ou l'autre des deux groupes indifféremment). Ce résultat est surprenant car si les usagers avaient eu un délai de réponse dû à l'exercice d'une tâche annexe autre que la conduite, les résultats auraient été pires ; dans le cas de cette étude aucune perturbation extérieure induite par une activité autre n'est permise, les usagers sont concentrés uniquement sur l'environnement de conduite.

Globalement, ces travaux montrent que **les informations sur le système** et son fonctionnement, en incluant les limites de celui-ci **ne permettent pas de créer pour le conducteur une modélisation mentale suffisante** afin d'avoir pleinement conscience des capabilités du système. **Une stratégie reposant uniquement sur l'information du conducteur ne paraît ainsi pas suffisante pour une correcte maîtrise des systèmes de conduite automatisée.** Bien que les scénarios aient été présentés de manière aléatoire dans cette étude, un certain **apprentissage a pu être remarqué au cours du passage des scénarios chez les usagers**. Il est aussi important de noter que dans le cas du panel observé, le niveau d'études est assez haut, ce qui signifie que la capacité d'apprentissages théoriques du panel pourrait être relativement bonne, comparée à la moyenne de l'ensemble de la population. Ainsi, bien que des investissements plus conséquents soient requis pour la formation, une formation dispensée même sur une courte période pourrait se révéler suffisante. La **combinaison d'outils théoriques et pratiques pourrait permettre un équilibre entre « apprendre par la pratique » et pourvoir les conducteurs de connaissances sur certaines situations ciblées**.

Une limite principale à l'étude est que les informations transmises aux participants ont été dans la mesure du possible proches des informations disponibles aujourd'hui dans les manuels utilisateurs et ne sont pas exhaustives. **Le contenu de l'information aurait pu être retravaillé afin de correspondre à des besoins plus poussés des usagers dans l'optique d'une bonne compréhension des systèmes**, de leur fonctionnement, de

leurs limites, et d'autres paramètres comme des situations d'attention, des situations d'urgence et d'autres aspects techniques liés à l'automatisation comme le concept de reprise en main.

### r. Apport d'un processus de familiarisation et de prise en main sur le niveau de confiance

Puis, une thèse récente s'intéresse au besoin d'entrainement et à l'état actuel de la formation pour les véhicules automatisés (Sportillo 2019). Ce travail appuie l'idée que **l'information n'est plus suffisante à la maîtrise des véhicules automatisés ou du moins équipés de systèmes d'aide à la conduite**, mais apporte la preuve que **les connaissances théoriques ne suffisent plus** non plus mais qu'un véritable processus de familiarisation et de prise en main est nécessaire. En introduction, le cas des véhicules conditionnellement automatisés est présenté comme seuls systèmes où des utilisateurs non professionnels réalisent des reprises en main pour lesquelles ils ne sont pas formés. Les plus grands dangers identifiés dans la littérature semblent être encore une fois **la méconnaissance du fonctionnement des systèmes et de leurs limites[13].** Dans ce cadre, un programme d'apprentissage et de formation semblent essentiels pour permettre des interactions sures et pour favoriser l'acquisition correcte des compétences opérationnelles. Sans ça, les conducteurs pourraient avoir une fausse idée de l'automatisation et des attentes biaisées. Par exemple concernant **la demande de reprise en main, qui est normalement considérée comme un signal intentionnel du système pour marquer ses limites plutôt que des défaillances, est perçue par les usagers comme une défaillance du système**, ce qui limite considérablement la confiance portée au système à l'issue de plusieurs demandes de reprises en main successives[14].

D'un point de vue réglementaire, la Directive 85/374 du Conseil de l'Union européenne relative à la responsabilité des produits défectueux pour les constructeurs, considère un produit défectueux quand « il ne permet pas la sécurité qu'une personne est en droit d'attendre » y compris « l'utilisation à laquelle on peut raisonnablement s'attendre du produit ». **Ainsi, l'arrivée sur le marché de systèmes automatisés sans être accompagnés d'une information et d'une formation adéquates ne sera pas permise**. En revanche, les manières de dispenser cette formation aux usagers ne sont aujourd'hui pas claires et précise : les travaux de recherche cherchent à démontrer l'importance d'une formation des conducteurs mais ne présentent pour l'instant pas les moyens de déployer à grande échelle ces concepts ni d'exercer un suivi.

Les premières études réalisées s'intéressent particulièrement à un aspect qui est la demande de reprise en main dans les systèmes automatisés[15]. Ces études montrent qu'une familiarisation antérieure à l'expérimentation impacte le temps de reprise en main et qu'en particulier les résultats de ces usagers sont meilleurs. De même, la confiance en les systèmes automatisés est considérablement plus forte chez les usagers qui n'ont jamais eu de familiarisation de ces systèmes par rapport au groupe averti. **Les comportements dans le cas des situations critiques en revanche sont assez similaires dans les deux groupes, ce qui inciterait à penser que des enseignements plus poussés soient transmis.**

Sur les question plus précises d'**information**, des études ont montré que la connaissance et la lecture anticipée des manuels de conduite dans le cas des véhicules partiellement automatisés n'a pas eu de conséquence directe sur les réactions et la compréhension des situations par les usagers[16]. Ainsi **la stratégie qui consisterait à présenter l'information du conducteur comme suffisante pour la prise en main de ces systèmes n'est pas bonne**. L'impossibilité d'enseignements de procédures pratiques par le biais des manuels marque un besoin de fournir aux usagers d'autres méthodes qui relèveraient plutôt de la formation. Une bonne « formation » des conducteurs devraient alors d'après les auteurs inclure à la fois une partie théorique et une partie pratique pour la prise en main des systèmes, et ce à partir de la conduite partiellement automatisée.

[13] Sportillo cite par exemple les travaux de Dickie et Boyle (2009) et Piccinini et al. (2015)
[14] Sportillo cite des recherches menées par Hergeth et al. (2015)
[15] Sportillo cite parmi ces travaux, ceux de Hergeth et al. (2017)
[16] Sportillo cite les travaux de Boelhouwer et al. (2019), présentés également dans cette note bibliographique.

Les questions de **formation** par la familiarisation ont été abordées en comparant les impacts de différents types de reprise en main vers la conduite manuelle[17]. Deux types d'enseignements ont ainsi été comparés : une formation simple dans un simulateur et une formation plus complète avec des apports textuels, des tutoriels vidéos et une pratique plus élaborée en simulateur. Les résultats montrent que le groupe qui a reçu une formation plus complète a été capable de réagir plus rapidement aux demandes de reprise en main et ont réagi moins violemment avec la pédale de frein. De plus, ce groupe a enregistré une confiance plus élevée en les systèmes automatisés que l'autre groupe.

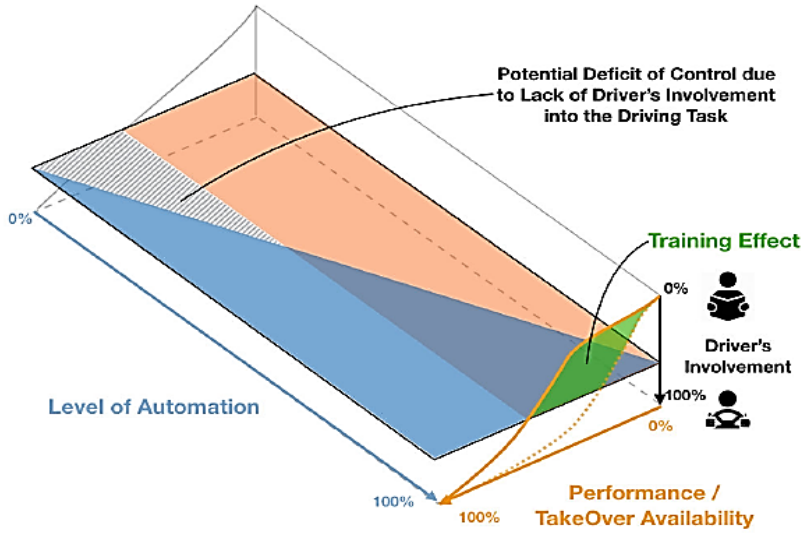



*Figure 43 : Modèle de transition critique pour la sécurité entre le conducteur et le véhicule en fonction de l'automatisation des véhicules, avec impact possible de la formation*

*Source : Herzberget et al. (2018)*

Les travaux ci-dessus affirment donc qu'une formation semblerait essentielle à la prise en main des systèmes et plus particulièrement des véhicules automatisés. Les travaux présentés ci-après s'intéressent également à l'apport d'un **processus de prise en main et de familiarisation, qui permettrait d'augmenter le niveau de confiance des usagers**. Ce travail ne s'intéresse donc pas précisément au besoin de la formation ni à une proposition de cadre de travail spécifique. La présentation de cette étude permet ainsi de noter par les faits que l'acceptabilité des véhicules automatisés est directement liée à leur appropriation par les usagers et par une certaine familiarisation (Walker, et al. 2018).

Plus précisément, cette étude s'intéresse au niveau de confiance des usagers et en particulier si une **expérience sur les routes d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite (de niveau 2) a des impacts sur le niveau de confiance déclaré**.

**Méthode**

Les participants de cette étude sont tous des employés du **ministère des transports des Pays-Bas**, dont aucun avait déjà expérimenté la conduite partiellement automatisée ni en tant que conducteur, ni en tant que passager. Les participants ont dû répondre à un questionnaire trois fois, à différentes étapes de l'étude. Ainsi **106 participations** ont été enregistrées dont 77 % d'hommes et une moyenne d'âge de 44 ans.

Le questionnaire transmis aux participants était composé de 34 questions. Une première partie concernait des informations sociodémographiques sur les répondants. Une section de 12 questions a cherché à comprendre le niveau de confiance des répondants vis-à-vis d'un véhicule partiellement automatisé dans 12 scénarios différents. Parmi ces questions, les usagers devaient tout d'abord indiquer si selon eux le véhicule serait en mesure de réaliser la tâche de conduite et donc exercer le contrôle dynamique. Puis, il leur a été demandé de s'imaginer à bord d'un véhicule partiellement automatisé afin de connaître leur niveau de confiance. Les réponses ont été enregistrées suivant une échelle de Likert de 1 à 5.

[17] Les travaux de Payre et al. (2017a) sont cités.

Les 12 scénarios sont les suivants :

1. *Vous conduisez sur autoroute avec un trafic moyen ; le système doit maintenir les distances de sécurité avec le véhicule devant et rester dans sa voie.*
2. *Vous conduisez sur autoroute et le véhicule devant freine fort.*
3. *Un véhicule vous dépasse par la voie de droite.*
4. *Vous conduisez sur autoroute avec beaucoup de pluie, la visibilité est mauvaise.*
5. *Vous conduisez dans une zone de travaux dont le marquage est jaune et s'additionne au marquage normal.*
6. *Un véhicule s'insère devant vous depuis la voie de droite et à une vitesse plus faible que la vôtre.*
7. *Un animal traverse l'autoroute, une situation dans laquelle habituellement vous freinez.*
8. *La voie dans laquelle vous circulez se termine, vous devez vous déporter sur la voie de droite.*
9. *Vous approchez une courbe sur l'autoroute.*
10. *Vous conduisez derrière un deux roues sur l'autoroute et non derrière une voiture.*
11. *Vous conduisez sur l'autoroute et les limites de vitesse diminuent, vous devez adapter votre vitesse.*
12. *Vous conduisez la nuit sur autoroute.*

Pour l'étude, six véhicules ont été sélectionnés (des modèles de 2016) : deux Tesla (une modèle S et une modèle X), deux Mercedes (une E-200 et une E-350-E), deux Volvo (une XC90 et une V90), équipées des systèmes de conduite automatisée de niveau 2 similaires. Ces trois types de véhicules sont ainsi équipés du freinage d'urgence, de l'ACC et du maintien dans la voie. Par ailleurs, la Tesla et la Mercedes permettent le changement de voie automatique lorsque le système est actif.

Cinq sessions ont été organisées dans le cadre de l'étude. Chaque participant a participant à l'une d'entre elles. **Le questionnaire a été distribué trois fois aux participants : une fois avant la session, juste après la session et deux semaines après la session**. Dans chacune des sessions les participants ont été à la fois conducteur et passager dans deux des véhicules décrits. Ainsi les véhicules étaient composés d'un conducteur et de deux passagers sur les sièges arrières et d'un moniteur expert sur le siège passager à l'avant. Le rôle de l'expert était d'expliquer le fonctionnement des dispositifs et de s'assurer qu'une sure confiance n'aboutirait pas à des situations dangereuses. Dans chaque session, les participants ont circulé environ 20 min sur une route prédéfinie incluant une section autoroutière, une section urbaine et une section rurale.

**Résultats**

Au niveau des habitudes des participants, 47 % ont déclaré utiliser plus souvent la voiture que les transports publics, 37 % l'inverse et 16 % une utilisation comparable des deux modes de déplacement. En ce qui concerne leur appétence pour les nouvelles technologies, la plupart se considèrent comme adopteurs médians.

Les résultats ont montré des **différences significatives entre les questionnaires en fonction de la période de remplissage, notamment entre les phases avant et après test**. Pour les scénarios 1 et 2, le niveau de confiance entre les deux étapes avant et après test a augmenté, ce qui signifie que les performances de l'ACC et du maintien dans la voie ont été supérieures aux croyances des usagers, tout comme le dispositif de freinage d'urgence. En revanche dans certains scénarios, une diminution de la confiance des usagers a été notée (scénarios 4, 7, 8, 9, 12). En effet, **la compréhension des limites des systèmes contribue à la prise de conscience chez les usagers des potentielles failles**, notamment en cas de mauvais temps ou d'une détection d'objet compliquée sur la route. De même, l'expérience du maintien dans la voie sur des sections courbées permet aux conducteurs de prendre conscience des limites du système, le niveau de confiance a donc baissé dans ces situations. En revanche, pour les questions 3, 5, 6, 11, aucune différence significative n'a été enregistrée entre les différents questionnaires. Dans le cas du dépassement par la droite, qui fait partie des scénarios critiques, le véhicule doit être en mesure de détecter la présence d'un véhicule arrivant de la droite. Enfin pour le scénario 11, aucune différence significative n'a été enregistrée car les participants n'ont pas pu avoir d'expérience sur ce scénario (seule la Mercedes classe E était capable de s'adapter à la vitesse du

prédécesseur). Le graphique suivant montre les évolutions du niveau de confiance des usagers en fonction du moment d'administration du questionnaire.

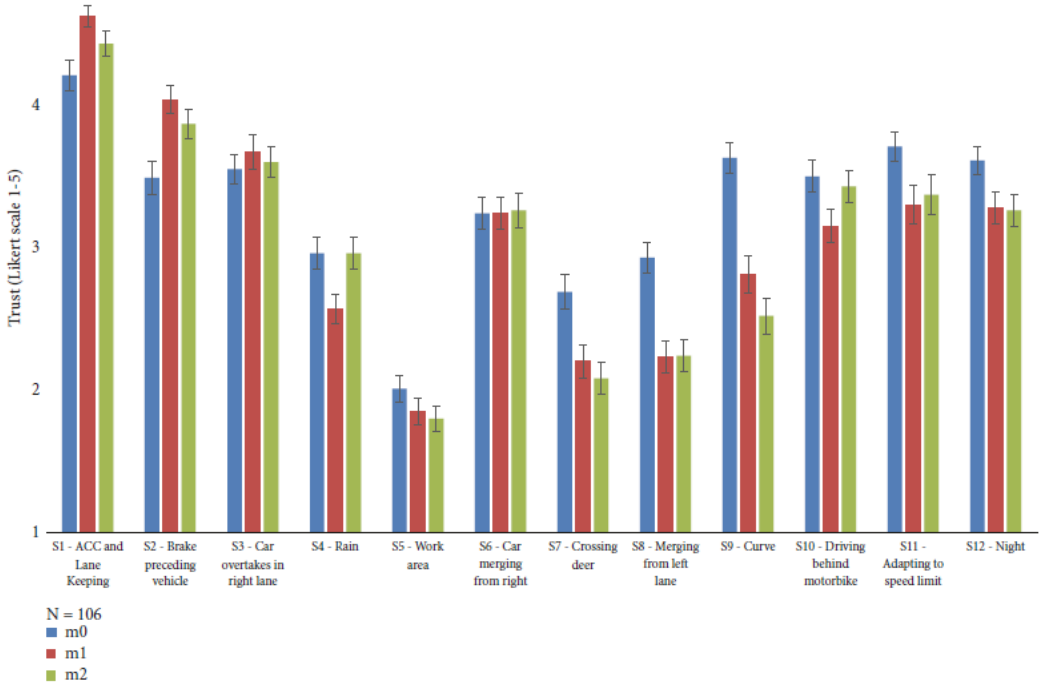



*Figure 44 : Présentation de l'évolution du niveau de confiance des usagers pour chacun des scénarios avant, après et eux semaines après la session*

*Source : (Walker, et al. 2018)*

Enfin, cette étude montre que la confiance des usagers en la technologie et particulièrement envers l'automatisation des véhicules représente un défi pour les futurs travaux dont ceux sur les facteurs humains. Il est important de ne pas se tromper d'objectif : **ne pas chercher à maximiser le niveau de confiance mais chercher à faire correspondre le sentiment de sécurité des usagers à la maturité de la technologie**. Ainsi, la sensibilisation et en quelque sorte la formation est un levier qui permet d'envisager une solution.

Par ailleurs, les résultats de cette étude ont montré qu'aucune différence significative n'a été notée entre les résultats des 2 derniers questionnaires bien qu'une différence entre les deux premiers ait été notée. Ceci signifie ainsi que le **niveau de confiance est relativement stable** même deux semaines après l'expérience. En revanche, cette étude ne mesure pas si le niveau de confiance est dû aux explications données aux participants avant le test, pendant le test par l'expert ou par le test lui-même. Ces aspects seront abordés dans la suite de la note bibliographique.

## *6.* Premières lignes directrices réfléchies sur la formation

Avec l'émergence des véhicules automatisés sur le marché, le contrôle dynamique en conduite manuelle est progressivement remplacé par un contrôle dynamique effectué par le système, ce qui implique une supervision du conducteur. **L'évolution du rôle du « conducteur » du véhicule induit une évolution des compétences nécessaires à la supervision de la conduite par le système.** Or, les méthodes de formation ne sont aujourd'hui pas adaptées et pourraient même être contreproductives pour une bonne utilisation de ces systèmes. **L'objectif de ce projet a été de développer des lignes directrices pour les protocoles de formation qui pourraient être utilisés par les professionnels de la formation afin d'optimiser la sécurité de la conduite.**

### s. Etablir des principes de formation aux Etats-Unis

Ce projet a été mené par le Centre national universitaire des transports, à l'aide d'une subvention de l'USDOT et par des fonds de l'Etat du Texas (Noble, et al. 2019).

Dans le cadre de ce projet, trois activités ont été conduites :

i. Réalisation d'une taxonomie des connaissances et des compétences requises pour l'exploitation des véhicules partiellement automatisés (L2) de la *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)* ;
ii. Réalisation d'une étude en simulateur de conduite à l'Institut du transport du Texas (TTI) pour tester les ADAS et déterminer les protocoles de tests ;
iii. Réalisation d'une étude dans un véhicule instrumenté à l'Institut des technologies des transports de Virginie (VTTI) afin de déterminer les adaptations des programmes de formation à la pratique à bord des véhicules.

**L'état de l'art des connaissances et des compétences requises pour l'usage des véhicules équipés d'ADAS**
Cette taxonomie ressemble aux recherches que nous avons déjà présentées précédemment et a fait émerger les aspects suivants :

1. L'objectif de l'utilisation des ADAS : les attitudes, les risques, les bénéfices et le niveau de confiance en ces systèmes ; de manière plus générale, les usagers doivent être conscients des conséquences des décisions prises par ces systèmes.
2. La compréhension des ADAS : la connaissance des niveaux d'automatisation est selon les chercheurs probablement la plus importante donnée afin de mieux maîtriser le fonctionnement et les limites des systèmes. Une mauvaise compréhension pourrait aboutir à des conséquences désastreuses pour la sécurité routière.
3. Les **transitions entre les modes manuel et automatisé** : le comportement des usagers est une donnée clef puisque la sécurité est directement liée à la capacité de reprise en main du système par le conducteur dans le cas d'une situation critique ou d'une simple sortie d'ODD.
4. La familiarité des usagers entre les composants et leur localisation sur le véhicule et en partie la connaissance des sous-systèmes impliqués dans chacun des dispositifs (caméras, capteurs) afin de pallier d'éventuelles défaillances.
5. La compréhension des systèmes d'assistance du conducteur et leur impact sur la conduite.

**Evaluation d'un protocole de formation en simulateur**
**Méthode**
La première étude a été réalisée avec **30 participants de plus de 55 ans**, aucun n'ayant déjà conduit ou utilisé un véhicule équipé d'ADAS. L'étude a été réalisée dans le simulateur du TTI. Le véhicule du simulateur sur lequel les participants ont un contrôle est équipé d'un système type ACC et ALK.

En amont, chaque participant a répondu à une étude afin de collecter des informations sur leurs habitudes de conduite, leurs connaissances sur la technologie et d'éventuelles prédispositions. Ce questionnaire a été utilisé afin de s'assurer de **l'homogénéité des profils**.

Chaque participant a ensuite été affecté de manière aléatoire à un des **trois types de conditions, qui différent uniquement sur le protocole de formation sur l'ADAS, le contenu étant le même à chaque fois** : diffusion d'une vidéo décrivant le fonctionnement du système, démonstration par un formateur du fonctionnement du système derrière le volant ou enfin aucune instruction présentée.

Les participants ont réalisé **3 essais**, chacun composé de 8 segments alternant à la fois de la conduite manuelle et de la conduite automatisée. Entre chaque test, les conducteurs devaient suivre un véhicule de tête qui changeait de manière aléatoire de vitesse.

Les performances sont calculées en fonction du **temps inter-véhiculaire** séparant l'ego de son leader et de **l'attention des participants** en fonction du nombre de fois que leur regard s'est posé sur une des zones d'intérêt (tableau de bord, l'écran tactile avec les commandes ADAS, la chaussée).

**Résultats**

Les résultats ont été établis par sexe afin de traduire les différences significatives des temps de réaction. Les femmes ont eu un temps inter-véhiculaire supérieur à celui des hommes, uniquement sur le premier test. En revanche le **type de formation ne semble pas impacter significativement les résultats**. Le graphique suivant montre les résultats pour les hommes et les femmes en fonction du type de formation reçue.

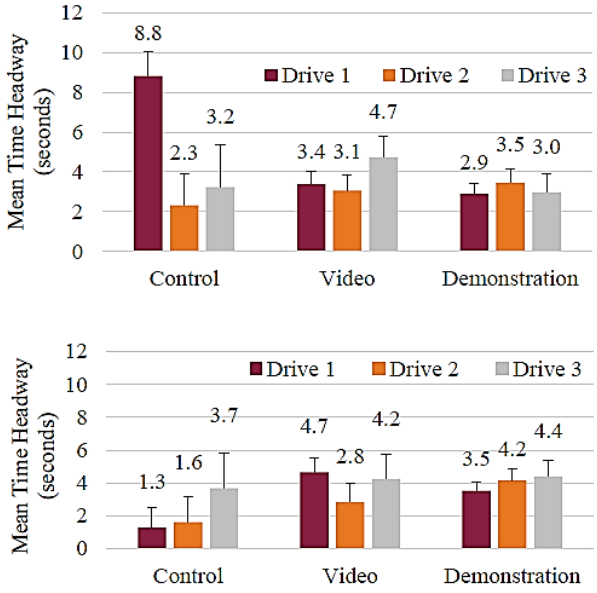



*Figure 45 : Moyenne des temps inter-véhiculaires pour les hommes et les femmes sur les trois tests réalisés en fonction du type de formation reçu en amont et en cas de contrôle manuel*

*Source : (Noble, et al. 2019)*

Concernant les regards sur les zones d'intérêt, les résultats montrent que les hommes ont tendance à avoir des regards répétés et donc plus nombreux que les femmes sur les zones d'intérêt. Par ailleurs, les participants qui n'ont pas reçu de formation ne semblent pas avoir des résultats significativement différents de ceux qui ont reçu des informations sur les ADAS.

En conclusion de cette première étude**, le temps inter-véhiculaire ne semble pas être influencé par l'information donnée au conducteur** mais par contre, les comparaisons entre hommes et femmes suggèrent qu'en conditions normales les femmes semblent avoir une conduite plus sure. De plus**, la formation encouragerait les participants à avoir des regards plus fréquents sur les zones d'intérêt** tandis que les femmes ont plus largement tendance à rester concentrées sur l'environnement de conduite, les hommes ayant des regards plus fréquents sur les interfaces de bord. En outre, un aspect évoqué dans le rapport serait que **l'information permettrait au conducteur d'avoir un effort mental réduit par rapport à la non formation lors de la conduite automatisée.**

Ainsi, les performances des conducteurs en cas de supervision d'une conduite automatisée peuvent être impactées par la formation mais sont aussi dépendantes d'autres facteurs comme du sexe de l'individu et des comportements de conduite.

**Evaluation d'un protocole centré sur une utilisation en conditions réelles**
**Méthode**
Pour cette seconde étude, **40 participants du sud-ouest de Virginie ont été sélectionnés, âgés entre 18 et 25 ans et entre 55 et 75 ans.** Les participants ne devaient pas avoir eu d'expérience avec des véhicules équipés d'ADAS.

De même que dans l'étude précédente, les participants ont rempli un questionnaire afin de connaître leur profil et leurs habitudes de conduite, leur rapport à la technologie.

Le véhicule pour ces tests a été une Tesla Model S (2016). Chacun des participants a été affecté aléatoirement à l'un des deux groupes : **l'un a reçu une formation conventionnelle sur la manière d'utiliser les ADAS par une lecture du manuel de bord et l'autre a reçu une formation à partir d'un module interactif**. Ce module plus précis a proposé aux participants trois composants : une vue d'ensemble, l'ACC en fonction du trafic et l'auto direction. La vidéo a également montré aux participants comment manipuler le dispositif et comment interagir avec. Après cette formation, les deux groupes ont rempli un questionnaire afin de valider les acquis assimilés lors de la première phase.

Le test en conditions réelles a été réalisé sur une **piste d'essais** en Virginie, elle est composée de deux voies sur une section d'environ 1.5 km. Les participants ont réalisé 6 tours sur la piste et ont dû stopper le véhicule à certains endroits précis afin d'avoir d'autres instructions. Sur la piste, la vitesse maximale autorisée était d'environ 56 km/h, en respectant le code de la route et en restant dans leur voie tout en gardant une distance de 2 s avec le véhicule prédécesseur.

Puis un autre essai a été réalisé sur deux sections de quelques centaines de mètres coupées par une section intermédiaire de quelques centaines de mètres également. Dans la zone de transition, les participants ne devaient être attentifs qu'à la tâche de conduite et le véhicule de tête devant circuler à une vitesse constante.

**Résultats**
Les résultats ont été obtenus pour divers indicateurs, entre les différentes catégories d'âges et la période d'administration des questionnaires. D'abord, la reconnaissance des ODD et des environnements dans lesquels les dispositifs étaient pertinents a été en moyenne 3 fois meilleure chez le public plus âgé. De plus, en ce qui concerne les limites des systèmes ACC et ALKS, **la plupart des participants n'étaient pas en mesure de reconnaître correctement les fins d'ODD, et ce même après avoir reçu la formation** ; un seul d'entre eux a été capable de le faire avant et après la formation. En ce qui concerne **la reconnaissance et l'identification des composants du dispositif, il a été noté que la formation plus complète a été bénéfique dans le cas de l'ALK par rapport à une formation standard.**

Un autre indicateur a été le temps des regards hors de l'environnement de conduite. Les résultats ont été présentés par tranche d'âge, avec ou sans activité secondaire exercée et selon l'utilisation des systèmes d'aide à la conduite. Les graphique ci-dessous présente les temps moyens.

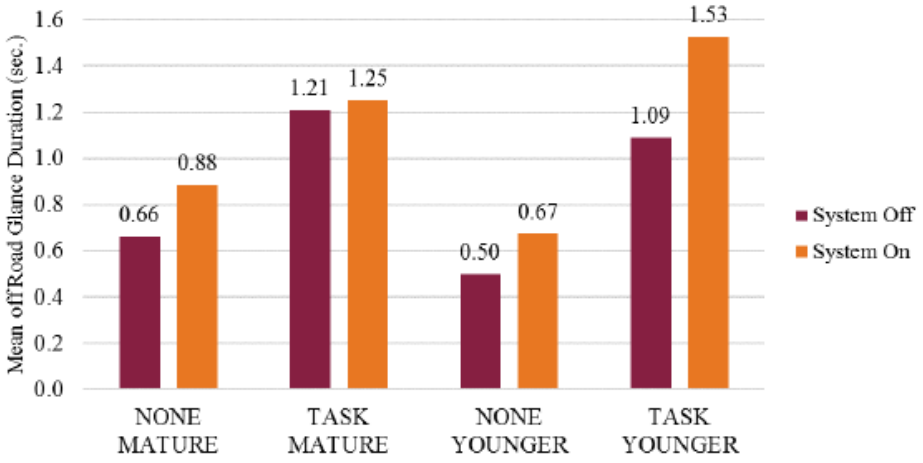



*Figure 46 : Durées moyennes des regards portés sur des zones autre que l'environnement de conduite en fonction de l'âge et de la réalisation ou non d'une activité secondaire et en fonction de l'utilisation des ADAS (ACC et ALKS)*

*Source : (Noble, et al. 2019)*

Ce graphique montre que pour les personnes plutôt mures (55-75 ans), il n'y a pas de différence significative entre le temps des regards distraits lors d'une activité secondaire que ce soit avec ou sans utilisation d'un système, ce qui n'est pas le cas chez le public jeune (18-25 ans) où on remarque un écart de presque 0.5 s.

Par ailleurs, les temps de regards hors de l'environnement de la conduite ont été mesurés pendant les périodes de transition. Les périodes de transition ont été réalisées sans réalisation d'une activité secondaire et avec le véhicule prédécesseur à vitesse constante, chacune ayant duré environ 30 s. Des comparaisons ont été établies entre les périodes de transition au début et à la fin des tests. Les résultats montrent qu'une **différence significative des temps de regards extérieurs a été observée sur les premières transitions entre les modes de conduite** (le temps de regards étant supérieur dans le cas d'une activation des ADAS). En revanche sur les dernières périodes de transition, la différence n'est plus significative.

Enfin, la période d'administration du questionnaire d'opinion a eu une influence significative sur les réponses des usagers. En effet, les participants étaient par exemple plus enclins à répondre positivement sur leur niveau de familiarité après la formation. De manière générale, **les réponses positives sur les opinions des participants face aux ADAS ont clairement augmentées entre l'avant formation et l'après conduite**.

Pour conclure, cette étude avait deux objectifs :

- Vérifier si le mode de formation impacte considérablement les comportements des usagers.
- Voir si les comportements étaient impactés par la pratique et une expérience.

Les résultats apportent ainsi que le **mode de formation initial impacte peu les comportements des usagers mais que par ailleurs, une expérience à bord de véhicules équipés de ces systèmes a des conséquences positives.** Ainsi, la connaissance théorique du fonctionnement des systèmes ne suffit pas à maîtriser les véhicules, ce qui prouve que les protocoles actuels d'apprentissage de la conduite ne sont pas suffisants à la maîtrise des véhicules équipés d'ADAS et plus généralement de véhicules automatisés.

Cette étude propose ainsi en ouverture les besoins des protocoles de formation en fonction des résultats obtenus, toujours selon les axes de formation définis en hypothèses (validées par l'étude) :

- Le besoin des conducteurs d'avoir à tout instant les yeux sur la route, et ce particulièrement pendant l'utilisation des ADAS ;
- Les différences entre les hommes et les femmes en ce qui concerne l'attention portée à l'environnement.

Cette étude rejoint l'étude de (A. Boelhouwer, A. van den Beukel, et al., Should I take over? Does system knowledge help drivers in making take-over decisions while driving a partially automated car 2019) présentée précédemment car elle suggère encore une fois que l'information ne suffit plus mais aussi, comme le suggère (Sportillo 2019) dans sa thèse, des compétences théoriques ne sont plus suffisantes non plus. **C'est pourquoi, elle se présente comme un *input* essentiel aux Etats-Unis afin d'établir des lignes directrices de formation.**

### t. Des travaux en cours dans le cadre du programme cadre H2020

Plus récemment, le projet Trustonomy, déjà introduit dans les précédentes notes bibliographiques et qui fait partie du programme cadre H2020, s'intéresse en particulier à l'acceptabilité des usagers, comme nous l'avons cité plus-haut dans la partie acceptabilité et **cherche à donner des préconisations sur les besoins en formation des conducteurs**. Il se place dans l'optique de l'horizon 2024 où tous les véhicules circulant dans l'Union européenne devront être équipés de systèmes divers dont le premier est le freinage automatique d'urgence (AEB). Dans la continuité du développement des systèmes d'aide à la conduite et au vu des mesures de renforcement de la sécurité routière par le Parlement européen, il semble **nécessaire de réfléchir sur une formation ciblée *automated driving system (ADS)* sur mesure et de décrire les guides utiles lors de l'élaboration du cadre de formation des conducteurs.**

Avec le développement des véhicules automatisés, il émerge des besoins en formation (Kruszewski 2021). En effet, malgré les évolutions de cadre réglementaire et les exigences de sécurité plus strictes, les usagers n'ont

pas la connaissance sur l'usage propre des dispositifs d'automatisation. Les examens actuels et les formations dispensées ne permettent pas d'acquérir les compétences nécessaires à l'introduction de ces systèmes sur les routes. **Les usagers n'ont pas les idées claires entre les fonctions, les limites et les attentions requises pour leur utilisation.** Ce manque de connaissance observé dans le cadre du projet Trustonomy pourrait conduire à se méfier ou abuser de ces systèmes. Ainsi les changements technologiques et l'éducation sur ces dispositifs doit avoir lieu en parallèle.

Les chercheurs et experts réunis autour du projet Trustonomy réfléchissent ainsi à une modification des compétences requises du permis de conduire, ce qui concernerait les véhicules hautement et totalement automatisés (dont le niveau d'automatisation correspondrait à du L3 et L4). **Le travail ne cible pas spécialement les conducteurs professionnels mais l'ensemble des conducteurs qui détiennent un permis de conduire**. Les recommandations du rapport sont donc destinées à l'ensemble des structures suivantes :

- Les auto-écoles ou plus précisément les établissements d'enseignement de la conduite à titre onéreux ;
- Les centres de certification dans le cas par exemple des transporteurs ;
- Les propriétaires de flotte dans le cas des opérateurs et des exploitations de services de transports routiers automatisés ;
- Les législateurs dans l'optique de définition des exigences et de la portée de la formation ;
- Les assureurs en créant par exemple une tarification spéciale pour les conducteurs ayant bénéficié d'une information/formation sur l'utilisation des ADS ;
- Les consommateurs dont acheteurs de véhicules neufs, volontaires pour une formation complémentaire ainsi que les concessionnaires et l'équipe de service.

Dans ce cadre et en tenant compte du **manque de directives sur le sujet de la formation chez les conducteurs**, l'équipe projet s'est intéressée plus particulièrement à certains dispositifs d'aide à la conduite dont le contrôle de vitesse adaptatif (ACC), l'aide au maintien dans la voie (ALK), le freinage d'urgence (AEB). Les questions de recherche abordées dans le projet reflètent les attentes du cadre de formation des conducteurs. **La solution choisie et proposée doit donc s'assurer de suivre un certain nombre d'exigences dont être facilement compréhensible, efficace, concise, conforme aux exigences légales, obligatoire ou facultative, dispensée par un formateur professionnel et documentée**.

La méthodologie suivie afin de proposer une mise à jour des compétences et des certificats décernés aux conducteurs doit consister en deux parties d'après les experts du projet Trustonomy : **une partie théorique et une partie pratique dans un véhicule automatisé ou un simulateur**. Les **supports pédagogiques** sont nombreux (présentations, films, classes, études, tests et quizz, réalité virtuelle), **les équipes préfèrent dans le cadre de leur méthodologie s'appuyer sur des formats moins standards que les cours en classe** comme des présentations, des cours en ligne, des films. Par ailleurs, la réalité virtuelle est écartée en raison de la complexité de pouvoir la déployer à grande échelle. Pour la partie pratique, les deux solutions sont envisagées (simulateur et conduite réelle) mais **le recourt au simulateur** permet de créer des environnements plus complexes et avec des acquisitions de données moins compliquées que sur site en conditions réelles. Cette solution est donc envisagée en considérant qu'il sera difficile d'avoir des simulateurs à dispositions de tous les organismes destinés à faire de la formation, ce qui n'est pas le cas de la recherche ici.

Plus particulièrement, dans le cas de l'utilisation d'un simulateur de conduite, sont à prendre en compte les troubles du simulateur créés par l'inéquation entre les informations sensorielles perçues et les expériences antérieures des participants. C'est dans cette optique qu'un questionnaire a été établi pour recenser certains symptômes dont la salivation, les nausées aux maux des transports, la fatigue, le mal de tête, les vertiges (parmi d'autres).

Les premières études et les premiers travaux ont fait émerger **des premiers axes d'évolution de la formation nécessaire à l'obtention du permis de conduire** :

- Un entraînement supplémentaire sur des problèmes liés aux systèmes automatisés ;

- Un entraînement supplémentaire sur les dispositifs présents dans les véhicules ;
- Introduction de changements dans le champ de la formation ;
- Augmentation de la durée de la formation théorique
- Introduction de nouveaux matériels contenant tous les nouveaux sujets ;
- Modification des conditions d'entrée pour les étudiants ;
- Exigences plus élevées pour les instructeurs et les examinateurs ;
- Introduction de changements dans les examens théoriques et pratiques ;
- Augmentation du nombre d'heures de conduite et de situations rencontrées ;
- Introduction de la formation sur pistes d'essais ou simulateurs.

**Approche du projet sur la formation des conducteurs**

L'entrainement des conducteurs devrait être réalisée en trois étapes :

- Un **apport théorique sur les véhicules automatisés** en mixant des présentations en ligne sur les systèmes automatisés obligatoires, des cours en ligne sur les niveaux d'automatisation avant même d'avoir des cours pratiques dans la mesure du possible.
- Un **entraînement pratique focalisé sur les ADS les plus communs** (pour le moment ACC, ALKS, adaptateur de vitesse, freinage d'urgence…). La phase de tests devrait dans la mesure du possible être réalisée sur des pistes et en conditions réelles.
- Une **évaluation** résumant l'ensemble des compétences acquises pendant la phase de formation, que ce soit des informations transmises pendant les deux premières phases (directement à la fin des cours pour la phase théorique et six mois après pour la phase pratique).

Sur le projet Trustonomy, les groupes cibles pour la formation auront une introduction théorique sur les différents équipements, sur les documentations techniques. Puis, pour la phase de tests en simulateur, les opinions en matière d'interfaces homme-machine (IHM) et de fonctionnement du système seront collectées. A partir des retours, de nouveaux concepts de fonctionnement seront développés ; ce qui aboutira à un complément d'informations théoriques pour les conducteurs. Les premières étapes seront suivies par de la pratique dans le véhicule. Le site pilote 1, se trouvant à Varsovie en Pologne, sera d'abord un lieu de tests en usine (Solaris) puis sur piste fermée. La validation du système automatisé sur routes ouvertes n'est pas possible en Pologne en raison du manque de cadre réglementaire sur les véhicules automatisés.

Le résultat final des tests sera d'examiner l'efficacité des caractéristiques supposées des dispositifs. L'IHM en est un exemple : il s'agit de tester l'impact des signaux externes sur le comportement individuel du conducteur (réaction du conducteur à des signaux individuels, par exemple visuels, sonores ou haptiques).

Les participants pour les expérimentations et les travaux relatifs à la modification des examens du permis de conduire sont les suivants :

*Tableau 4 : Expérimentations réalisées sur les différentes sites pilotes*

*Source : (Kruszewski 2021)*

| Participant | Lieu | Niveau d'automatisation | Usage | Contenu des formations dispensées | Public et nombre | Format des sessions |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ITS | Simulateur | Hautement automatisé (L4) | Véhicule particulier | Entraînement théorique et pratique conduit par un chercheur | 60 participants (représentatifs de la pyramide des âges en Pologne) | Groupe de recherche |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Skoda auto Szkola | Conditions réelles (piste et route publique) | Dispositifs d'aide à la conduite (L2) | Véhicule particulier | Entraînement théorique et pratique conduit par un professionnel | Nombre de participants non détaillés | |
| SOLARIS - Pologne | Enquête en ligne | Dispositifs d'aide à la conduite (L1) | Transport public (bus) | Entraînement théorique uniquement | Non déterminés | Groupe de recherches |
| TTS - Finlande | Conditions réelles (routes publiques) | Dispositifs d'aide à la conduite (L1) | Logistique (trucks) | Entraînement théorique et pratique conduit par un professionnel | Non déterminé | Groupe de recherche |

Le contenu concerne le contexte de la mobilité automatisée, les bénéfices de ces systèmes, les limites, les potentielles failles, les effets du temps et de l'état de la chaussée sur les dispositifs automatisés, les barrières législatives.

Le logiciel de simulation utilisé et développé dans le cadre du projet est SimYouLearning pour la partie ITS par exemple. Les modules sont construits à partir d'entraînements en simulations semi automatiques, de résumés et de quiz. Les tests décrivent :

- de la conduite sur autoroute à 3 voie,
- de la conduite en trafic mixte,
- des sessions d'activation et de désactivation du système,
- des accélérations, décélérations,
- de la demande de reprise en main,
- du changement de voie,
- des manœuvres de risque minimal,
- des scénarios aux limites comme des conditions météorologiques dégradées.

Enfin, la procédure de validation contient les étapes suivantes pour le cas ITS :

- test de connaissance préliminaires à la formation
- adaptation
- information et formation (manuel, cours en ligne et pratique)
- évaluation de la formation reçue
- scénarios de test
- évaluation subjective (du formateur, test post-formation, évaluation des stagiaires)

Ainsi, bien que ce projet ne soit pas encore aboutit et que les résultats en soient pas encore obtenus, **il propose un cadre méthodologique clair destiné à constituer un *input* a un processus normatif et réglementaire concernant la formation des conducteurs**, quels qu'ils soient.

## *7.* La pratique, un aspect clef du processus de formation

Cette partie fait écho aux premiers travaux présentés dans le début de cette section sur l'information et la formation du conducteur puisqu'elle rentre plus en détails sur les aspects de formation qui ont été réfléchis dans la littérature afin d'en montrer la plus-value. Il s'agit toujours d'une revue bibliographique qui a uniquement vocation à présenter un état des lieux des travaux scientifiques. Cette partie va plus loin puisqu'elle s'intéresse à la mise en pratique des dispositifs d'aide à la conduite chez les conducteurs.

### u. Demande de reprise en main et réalité mixte comme solution pratique

Dans sa thèse présentée précédemment, (Sportillo 2019) propose, dans une section dédiée, **un modèle de formation à partir de la réalité mixte**, c'est-à-dire en améliorant la perception de l'environnement par l'usager en combinant la perception humaine, le contenu généré par le système et l'environnement extérieur. La réalité mixte est finalement la combinaison du *hardware* et *software* de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. L'utilisation de la réalité mixte a ainsi des impacts sur la mesure dans laquelle l'utilisateur perçoit l'environnement, sur la possibilité pour l'utilisateur de réaliser des actions dans l'environnement réel mais aussi sur la cohérence entre l'environnement de formation et l'environnement dans lequel sont acquises les compétences. Le recourt à la réalité mixte dans le cas de la formation des conducteurs est dû au fait que réaliser des essais réels n'est pas évident en termes de coûts, de sécurité, de disponibilité des équipements notamment. **L'idée sous-jacente est que l'acquisition des compétences pendant la formation sous réalité mixte est transposable aux situations réelles.**

**Formation basée sur une immersion dans un environnement de réalité virtuelle**
**Méthodologie**
Ce travail présente ainsi des mises en situation d'une formation dispensée aux conducteurs par différents moyens et introduit des premiers concepts et des premières comparaisons des avis des utilisateurs sur les typologies présentées. **Trois supports de formation ont été proposés aux usagers : la lecture d'un manuel présenté sur un ordinateur, un système de réalité virtuelle avec un casque sur les yeux du participant, un simulateur fixe avec un vrai cockpit**. Après ces prérequis, les participants ont suivi des tests dans un simulateur afin de tester leurs réactions face à différents scénarios de conduite automatisée (2*2 voies en circulation à chaussée bidirectionnelle avec un trafic dense dans les deux sens). **L'évaluation des compétences acquises pendant la première phase de la formation s'est faite sur leur capacité de reprise en main dans différentes situations**, plus ou moins critiques.

La simulation a duré 20 min, pendant lesquelles les conducteurs ont parcouru 24 km. Après les 4 premiers kilomètres en conduite manuelle, les demandes de reprise en main ont été enregistrées à 11.5 km, 19 km et 23 km. Les demandes de reprise en main sont les suivantes :

- Demande de reprise en main de 10 s causée par une réduction du nombre de voies en raison d'un véhicule arrêté sur la voie de droite ; dans cette situation le conducteur doit freiner et changer de voie pour éviter l'obstacle.
- Demande de reprise en main de 10 s causée par une absence de marquage au sol ; dans cette situation le conducteur doit maintenir le véhicule dans la voie.
- Demande de reprise en main de 5 s causée par une défaillance d'un capteur ; dans cette situation le conducteur doit simplement reprendre le contrôle du véhicule.

Pendant la conduite automatisée, **les participants ont dû réaliser une autre activité que la conduite parmi celles proposées par la tablette de bord**.

Au total, 6 questionnaires différents ont été donnés aux usagers :

- Un sociodémographique avec inclusion de questions relatives aux habitudes de conduite des usagers et leur niveau de familiarité avec la technologie.
- Un plus précis sur leur opinion concernant les véhicules automatisés. Ce questionnaire leur est proposé une deuxième fois à la toute fin de la formation pour mesurer l'évolution de leur opinion.
- Un pour évaluer leur appréciation de la formation.

- Un pour évaluer le réalisme graphique et physique de l'entraînement virtuel (uniquement pour ceux qui n'ont pas reçu le manuel sous format informatique).
- Un questionnaire plus précis sur une évaluation de leur ressenti sensoriel dans le système de réalité virtuelle (uniquement pour ce groupe).
- Un questionnaire général après la formation.

**60 participants ont été formés par l'expérimentation**, représentant un panel représentatif des sexes. Trois catégories d'âges ont été représentées entre 22 et 71 ans (18 entre 22 et 34 ans, 23 entre 35 et 54 ans, 19 de plus de 55 ans). La durée totale de l'expérience a été d'environ 1 h pour chaque participant. Leur affectation à l'un des trois dispositifs d'apprentissage a été réalisée aléatoirement avec 20 participants dans chacun d'entre eux.

**Résultats**

Le graphique suivant propose une comparaison des résultats de l'appréciation des participants en fonction du dispositif sur lequel ils ont été affectés pour la première phase du test. Les réponses ont été données suivant une échelle de Likert de 1 à 5.

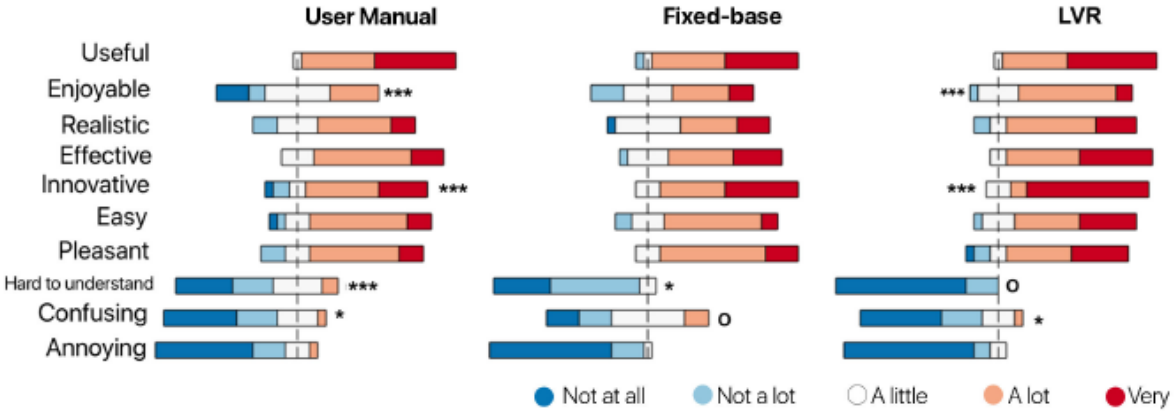



*Figure 47 : Réponses au questionnaire de l'appréciation de la première phase sur une échelle de Likert*

*Source : (Sportillo 2019)*

Au niveau de l'évolution des opinions sur les véhicules automatisés, le questionnaire était constitué de 8 affirmations :

1. *Je pense qu'un véhicule partiellement automatisé sera utile dans ma vie de tous les jours.*
2. *Je pense qu'un véhicule partiellement automatisé sera utile pour la société, d'un point de vue de la sécurité routière.*
3. *Je pense qu'un véhicule partiellement automatisé sera utile pour la société, d'un point de vue environnemental.*
4. *Je pense qu'un véhicule partiellement automatisé peut rendre les trajets plus appréciables.*
5. *Le véhicule partiellement automatisé peut réduire le risque des accidents.*
6. *Je pense que je me sentirais bien dans un véhicule partiellement automatisé.*
7. *Je me vois réaliser d'autres tâches que la conduite dans un véhicule partiellement automatisé.*
8. *En l'état actuel de mes connaissances, j'ai confiance dans les décisions que le véhicule partiellement automatisé prendrait à ma place.*

Le graphique ci-dessous présente l'évolution des résultats et des opinions des participants en fonction de l'impact de la formation qu'ils ont reçue.

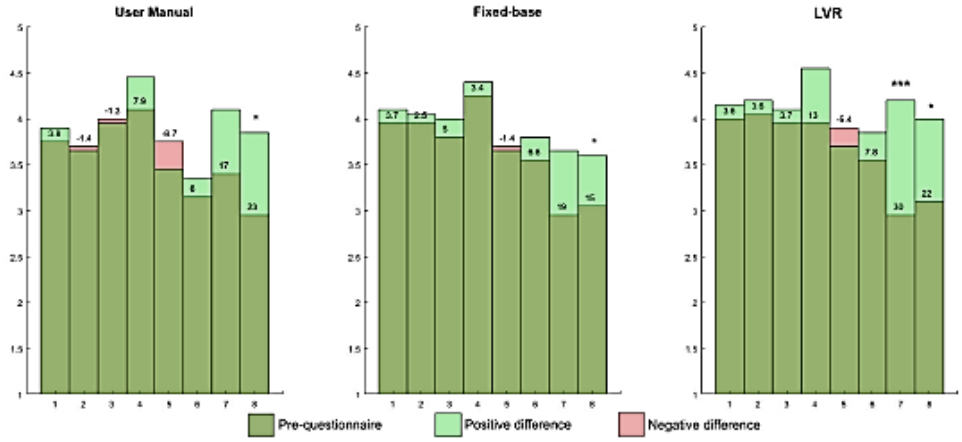



*Figure 48 : Moyenne des réponses avant et après la formation. Les valeurs indiquent les pourcentages d'évolutions des réponses*

*Source : (Sportillo 2019)*

En ce qui concerne les temps de réaction des usagers pour les trois demandes de reprise en main, les résultats sont présentés sur le graphique ci-dessous en fonction de la première phase de la formation reçue. **Pour les premières et secondes demandes de reprise en main, les participants entraînés sur les dispositifs de simulation ont réagi plus rapidement que les autres**.

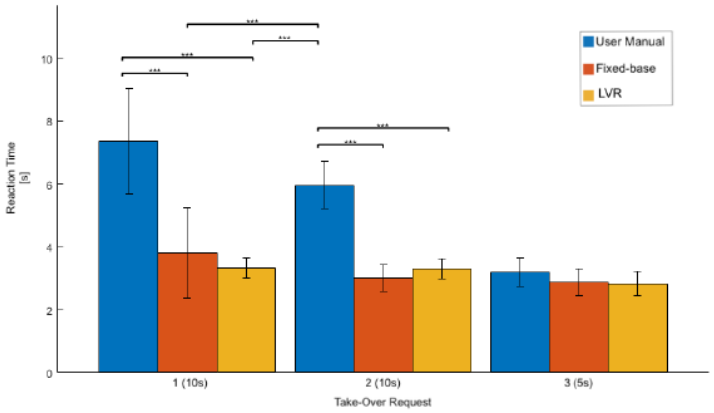



*Figure 49 : Moyennes des temps de réaction avec les intervalles à 95 % pour chaque demande de reprise en main*

*Source : (Sportillo 2019)*

Enfin concernant les possibilités de réaliser des tâches autres que la conduite pendant la simulation, les résultats sont présentés sur la figure ci-dessous. Un score de stress et de confiance a été attribué à chaque participant pendant chacune des trois phases de conduite automatisée (entre les demandes de reprise en main). Une note de 1 correspond à une concentration totale sur l'environnement de conduite tandis qu'un 5 correspond à une attention totale accordée à l'activité autre. **Pour les participants ayant uniquement lu le manuel, leur attention sur l'environnement de conduite est supérieure pendant la première phase de conduite** mais leur progression lors de la deuxième phase de conduite automatisée est plus nette et marquée que pour les deux autres groupes. Finalement, pour la dernière phase de la conduite automatisée, les score des trois groupes augmentent.

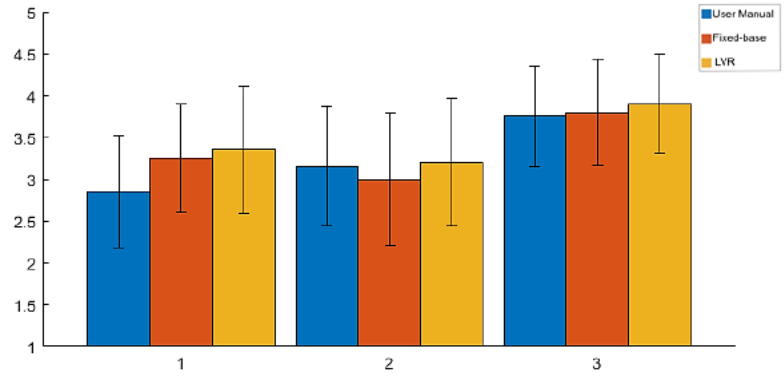



*Figure 50 : Moyennes et intervalles à 95 % du score de stress et de confiance attribués aux participants pendant les trois phases de la conduite automatisée. En bleu ceux qui ont reçu une préformation avec le manuel sur ordinateur, en rouge ceux qui ont eu une expérience dans le simulateur fixe et ceux qui ont eu le casque de réalité virtuelle*

*Source : (Sportillo 2019)*

En conclusion, l'étude proposée permet de différencier deux groupes d'individus : **ceux qui ont reçu un entraînement dans un environnement d'apprentissage virtuel, que ce soit en simulateur fixe ou sous forme de réalité virtuelle et ceux qui n'ont pas reçu de mise en situation préalable.** En effet, les indicateurs évalués ici (DTC et TTC pour la demande de reprise en main) montrent des réactions plus vives du premier panel : **la formation pratique a donc un impact positif sur les capacités des utilisateurs.**

**Formation basée sur une mise en situation en conditions réelles**
**Méthodologie**
Cette mise en situation en conditions réelles est souvent rendue très compliquée et impossible pour des raisons de sécurité et des raisons réglementaires. C'est pourquoi, de nombreuses expérimentations se sont développées et consistent à faire tester et utiliser des véhicules par des usagers lambda en leur faisant croire que ceux-ci sont automatisés : c'est **le protocole du magicien d'Oz**. En réalité, ces véhicules sont contrôlés par un humain habilité, ce qui permet de respecter les règles de sécurité et le code de la route. Dans cette mise en situation, avant l'entrainement, les **60 participants ont été initiés à bord de l'un des trois dispositifs : un tutoriel vidéo à bord du véhicule, le système de réalité virtuelle déjà présenté avec mains sur le volant et un système de réalité augmentée.** Après cette première étape, les participants ont été mis en situation sur une autoroute publique avec le protocole du magicien d'Oz dans un véhicule Citroën Grand C4 Picasso, modifié pour l'expérimentation. Ce véhicule est équivalent à un véhicule partiellement conditionnellement automatisé (L3) avec 5 états, l'opérateur humain étant situé aux commandes à droite tandis que le participant pense exercer les commandes dynamiques assis à gauche. Ils ont parcouru environ 25 km. L'étude a duré environ 2 heures par participant.

La situation de conduite a suivi un itinéraire où les trois demandes de reprise en main correspondent à :

- Demande de reprise en main de 50 s pour la fin de la zone d'automatisation (qui correspond à la fin d'ODD).
- Demande de reprise en main de 30 s qui correspond à une zone de travaux.
- Demande de reprise en main de 10 s en cas d'urgence par exemple en cas de fort trafic au niveau d'une entrée.

Le panel est constitué encore une fois de 60 participants dont 29 hommes et 31 femmes, répartis en trois catégories d'âge. Ils n'avaient pas d'expérience en conduite automatisée bien que certains aient déjà utilisé des systèmes d'aide à la conduite.

**Résultats**
Afin de mesurer comment la formation s'est déroulé, **ils ont eu à remplir trois fois un même questionnaire : en amont de toute formation, après la phase d'initiation et après la phase de test**. Après la phase de formation, les participants ont répondu à un questionnaire pour évaluer la phase de formation, ainsi qu'à un test de connaissances qui leur demandait de classifier les scénarios de conduite automatisée, d'identifier les interfaces dans la voiture et d'expliquer la procédure d'activation et de désactivation du système. En outre, après le test de conduite, **les participants ont rempli un questionnaire pour évaluer dans quelle mesure la formation les a aidés à avoir une expérience réussie.**

Les résultats du test de connaissances fait apparaître une différence significative entre les différents groupes et notamment entre ceux qui ont reçu uniquement un tutoriel vidéo et les autres. **Les différences sont essentiellement situées au niveau de la compréhension des scénarios de conduite et de la procédure de repris en main.**

Au niveau des temps de reprise en main, les moyennes sont présentées ci-dessous pour les trois types de demande de reprise en main en fonction de la préformation reçue. Au total, **234 reprises en main ont été effectuées**. Les participants ayant reçu une préformation à bord d'un dispositif de réalité virtuelle ont de meilleurs temps de réaction pour les demandes de reprise en main d'urgence de 10 s. De manière générale, plus les participants avaient du temps pour reprendre la main, plus leur temps de réaction était important.

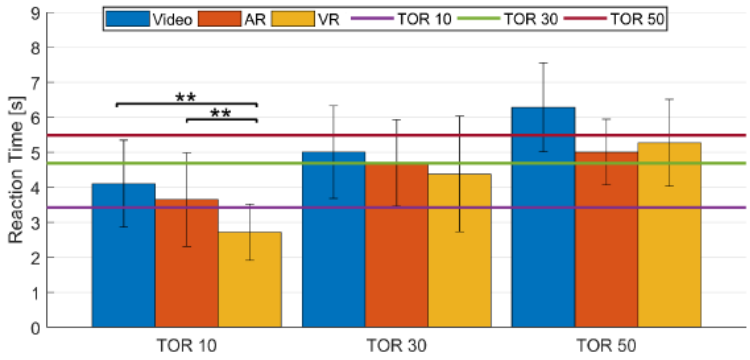


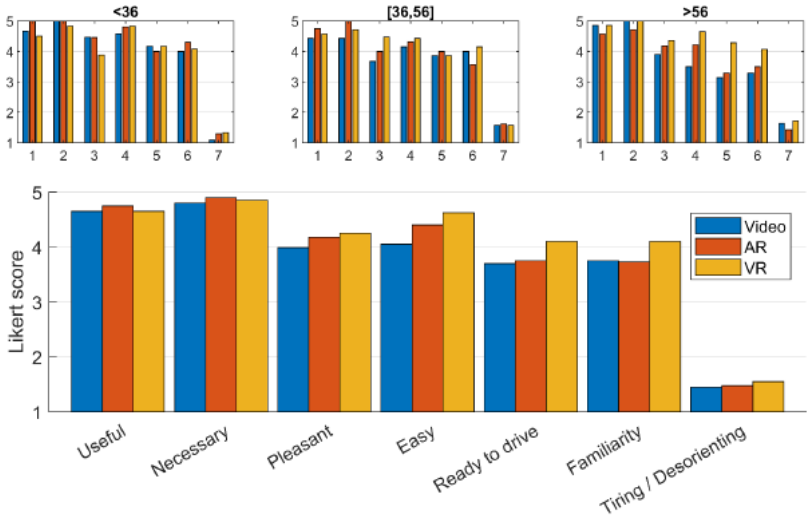

*Figure 51 : Les temps de réaction en fonction des types de demande de reprise en main. Les moyennes sont exprimées en lignes pleines.*

*Source : (Sportillo 2019)*

Au niveau de l'évaluation de la formation, les participants ont répondu sur une échelle de Likert de 1 à 5 sur l'utilité perçue, la simplicité d'utilisation, la compréhension et la familiarité. De manière générale, les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative sur la formation mais par contre quand le support de formation intervient, des différences significatives sont relevées : **les usagers semblent préférer la réalité virtuelle, notamment pour le public plus âgé.**

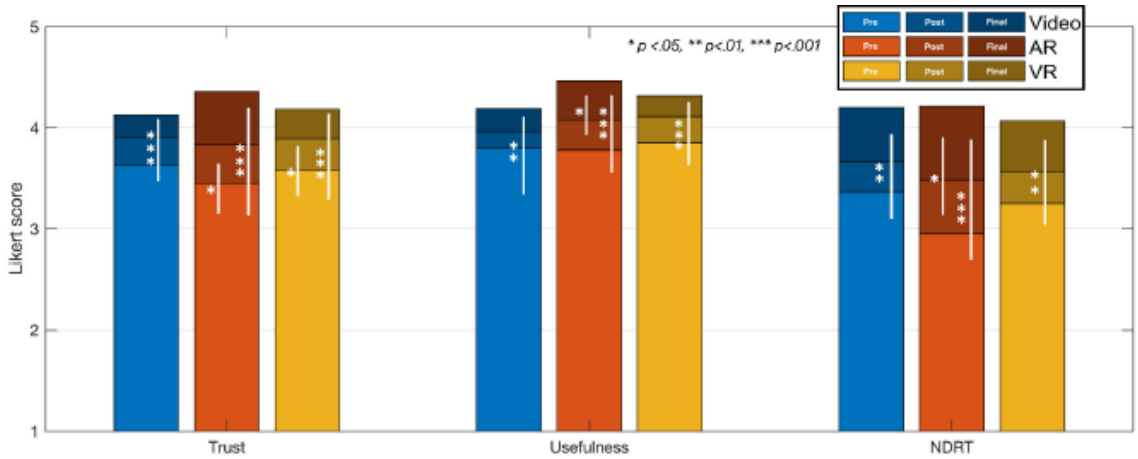
*Figure 52 : Résultats du questionnaire d'évaluation de la formation*

*Source : (Sportillo 2019)*




Concernant le questionnaire distribué trois fois aux participant sur la sécurité perçue et l'utilité des véhicules automatisés, le graphique suivant montre l'évolution des réponses des participants. Ce questionnaire prend également en compte leur intention d'avoir une autre expérience à bord d'un véhicule automatisé. **La première observation est que quelle que soit la préformation reçue, une évolution significative de l'opinion des participants sur le véhicule automatisé est notée.**

*Figure 53 : Evolution des réponses au questionnaire d'opinions sur le véhicule automatisé au cours des réalisations des trois questionnaires identiques au début, au milieu et à la fin du protocole. Source : (Sportillo 2019)*



En conclusion, cette thèse et les différentes analyses qui y ont été réalisées montrent que la formation, quelle qu'elle soit permet au conducteur de maîtriser l'aspect étudié ici : **la demande de reprise en main**. Par ailleurs, **la mise en situation permise dans les préformations de réalité virtuelle et augmentée montre que les participants semblent plus réceptifs aux demandes de reprise en main** réalisées lors de la phase des tests. La mise en situation pratique semble ainsi être nécessaire et profitable à la bonne maîtrise des systèmes et dispositifs automatisés. En outre**, tous les participants ont transféré les compétences apprises lors des phases de simulation aux situations réelles, ce qui affirme le principe de transfert de compétences**.

De manière générale, **les participants ont jugé le programme de formation utile et nécessaire pour la prise en main des systèmes et leur compréhension.** L'usage de la réalité virtuelle a eu des effets plus positifs et plus marqués. De plus, dans l'opinion générale et l'évolution de l'acceptabilité par la formation, les travaux ont montré que la pratique en conditions réelles a clairement fait augmenter les indicateurs d'utilité, de confiance et d'intention d'usage. **Cette conclusion signifie que la formation sur les systèmes de conduite automatisés est un levier de l'acceptabilité des usagers**, et que les enjeux de formation ne sont pas exclusivement tournés sur la sécurité routière. A l'issue de la formation, 63 % des participants affirment se sentir prêt à conduire des véhicules automatisés sans formation complémentaire.

Une expérience qui aurait pu ajouter une mesurabilité de l'apport de la formation est la prise en compte de deux groupes, l'un ayant reçu une préformation comme c'était le cas de tous les usagers ici et l'autre n'ayant reçu aucune information avant la mise en situation. L'impact sur le temps de reprise en main aurait pu être mesuré et comparé.

**Une différence méthodologique de conception entre les deux protocoles présentés a été basée sur le moment de la formation par rapport à la mise en pratique : dans le premier cas, la conduite est réalisée en même temps que la formation tandis que dans l'autre cas, le participant est mis en situation après avoir reçu une formation préalable**.

Ainsi, bien que les temps de reprise en main exigés diffèrent entre les deux situations de test (10 s et 5 s pour le simulateur fixe et 50, 30 et 10 s pour les conditions réelles) il est intéressant de noter que les ordres de grandeurs des reprises en main effectives sont les mêmes.

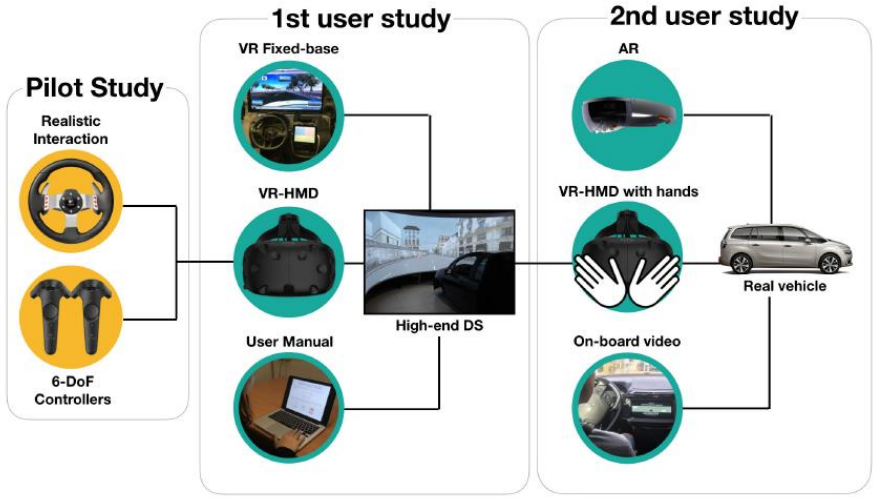



*Figure 54 : Rappel des différentes situations étudiées et du déploiement de la formation*

*Source : (Sportillo 2019)*

*Tableau 5 : Résultats des temps de réaction pour les deux situations pour chacun des trois types de formation*

| | Manuel utilisateur | Simulateur fixe | Réalité virtuelle | Tutoriel vidéo | Réalité augmentée | Réalité virtuelle |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Test** | **Simulateur fixe** | | | **Conditions réelles avec magicien d'Oz** | | |
| **Nb de participants** | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Temps de réaction (s)** | **1ères reprises en main** | 7.36 | 3.8 | 3.34 | 8.21 | 6.06 | 5.84 |
| | **3 premières reprises en main** | 5.51 | 3.23 | 3.15 | 6.07 | 5.00 | 4.97 |
| | | 3.96 | | | 5.35 | | |
| **Evaluation de la conduite** | | 3.95 | 4.0 | 4.3 | 4.21 | 4.31 | 4.43 |

## v. Impact de la formation et du module de formation

L'étude dont il est question ci-dessous s'appuie sur les travaux détaillés ci-dessus de (Sportillo 2019). Elle s'inscrit dans la continuité des travaux en reprenant le procédé de réalisation. L'objectif est ainsi de mesurer l'impact potentiellement positif de la formation sous différentes formes, ce qui a déjà été introduit dans la thèse de Sportillo, sur le niveau de confiance et les performances de reprise en main (Ebnali, Lamb, et al. 2020).

**Méthode**

97 participants de trois universités contenant 5600 étudiants et 450 employés ont été recrutés pour l'expérience. Les participants n'avaient pas ou très peu d'expérience des véhicules automatisés et pas ou peu de connaissance de la réalité virtuelle et du simulateur de conduite. Ainsi, **84 participants ont été retenus** selon les critères et ont été affectés aléatoirement à l'un des **quatre groupes suivants :**

- **Aucune familiarisation ni information donnée aux usagers ;**
- **Présentation sous forme de vidéo ;**
- **Réalité virtuelle de faible qualité ;**
- **Réalité virtuelle de bonne qualité.**

Chaque groupe contenait 21 participants. L'échantillon comprenait 45 % de femmes pour une moyenne d'âge de 24 ans. Tous étaient titulaires du permis de conduire et 77 % conduisaient tous les jours ou presque.

Les détails de la conception de l'environnement de réalité virtuelle ne sont pas détaillés ici mais disponible dans l'article (Ebnali, Lamb, et al. 2020). Le programme de formation était constitué de trois phases : l'apprentissage du fonctionnement des dispositifs de conduite automatisée, apprentissage des nouveaux rôles des conducteurs et enfin un test. Le schéma ci-dessous présente la décomposition des compétences à travers les trois modules de la réalité virtuelle. **Quelle que soit la méthode de formation reçue dans la première phase, le contenu est identique entre les types de modules. La différence se fait uniquement dans l'interaction et le format plus ou moins vivant du contenu.**

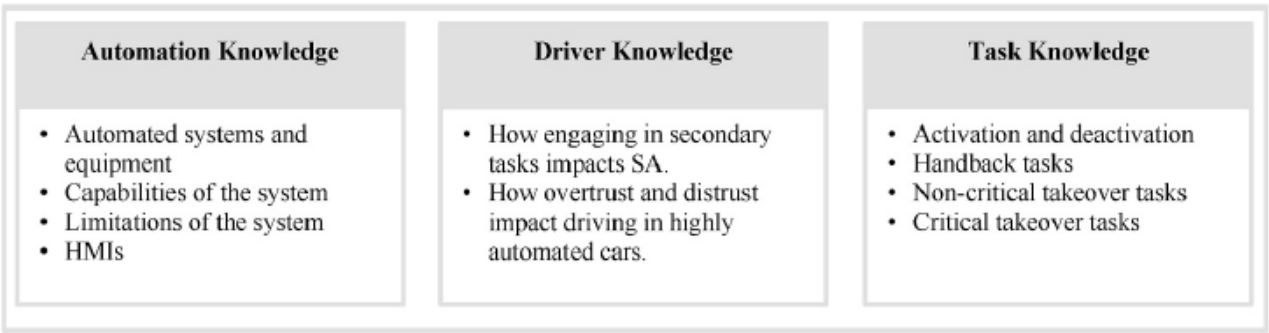



*Figure 55 : Schéma présentant la familiarisation des participants avec l'automatisation par la réalité virtuelle*

*Source : (Ebnali, Lamb, et al. 2020)*

Le processus de réalité virtuelle a été développé de manière évolutive c'est-à-dire que le niveau de fiabilité de la formation dépend des moyens mis en place dans la réalité virtuelle. Le schéma ci-dessous l'explicite assez clairement.

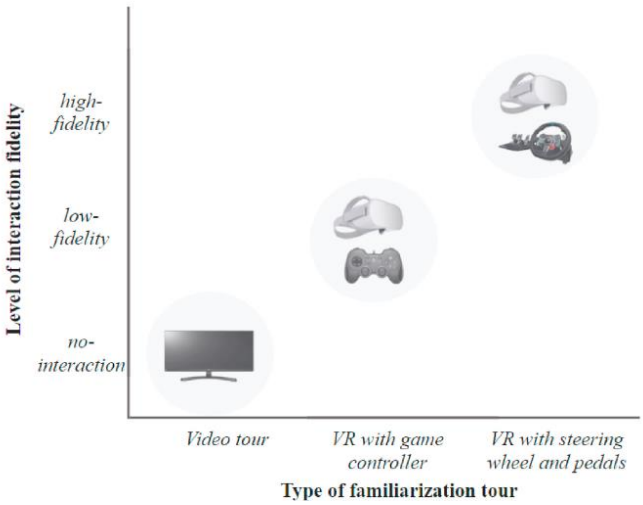



*Figure 56 : Schéma présentant l'évolution de la fiabilité de la formation dispensée en fonction des moyens de réalité virtuelle déployés*

*Source : (Ebnali, Lamb, et al. 2020)*

Pour chaque module de formation, le déroulement a donc été le même. En ce qui concerne les modules de réalité virtuelle, dans une première partie, des informations ont été partagées avec les participants sur le fonctionnement des ADAS, une vidéo leur a été présentée sur le principe de l'automatisation et les niveaux d'automatisation. Les participants ont pu circuler autour du véhicule du simulateur afin de se familiariser avec le véhicule et ses capteurs. De même, un tour interne a été réalisé sur la familiarisation avec les interfaces homme machine (IHM). Puis dans une seconde partie, une vidéo expliquant le rôle du conducteur dans un véhicule automatisé a été présentée aux conducteurs. Certaines situations dangereuses dans le cas d'une sur confiance du conducteur ont été présentées également. Dans une dernière partie, le participant a été guidé par un instructeur afin de comprendre comment activer et désactiver le système. Puis, l'instructeur a demandé au participant de commencer à conduire sur autoroute grâce au simulateur afin de pouvoir activer le système de conduite automatisée. Une fois le système enclenché, une demande de reprise en main de 5 s a été demandée au conducteur en raison d'une situation d'accident sur l'autoroute. Après cela, le conducteur a été engagé dans plusieurs autres demandes de reprise en main (2 en situation critique et 2 en situation normale). Pour chaque demande de reprise en main, l'instructeur a expliqué au participant les raisons de la reprise en main. Dans le module de faible fiabilité, le participant avait un casque sur la tête et exécutait les tâches avec un joystick tandis que dans le module de haute fiabilité, le participant avait un volant et des pédales.

En ce qui concerne le module de vidéo, l'ensemble des procédés enseignés ont été les mêmes si ce n'est que les participants ont toujours eu des formats vidéos que ce soit sous forme de court métrage ou de clips. **Cette étude est ainsi la première de la note bibliographique à avoir analysé une diversification au niveau du format et non pas au niveau du contenu uniquement.**

Une fois **la familiarisation effectuée, le test en simulateur a pu être réalisé afin de mesurer l'efficacité de chacune des méthodes de formation déployées avant sur de la conduite conditionnellement automatisée**. Le **simulateur est fixe et contient deux modes : le mode manuel et le mode automatisé de niveau 3**. En cas de besoin, le conducteur doit reprendre la main sur le véhicule, qui ne saurait pas effectuer une manœuvre ou réagir à une situation. En ce qui concerne le groupe sans familiarisation, il a été introduit dans le simulateur sans aucune information. Bien que la première phase de l'expérimentation n'ait pas été la même pour tous les participants, le déroulé des tests en simulateur a été identique : mêmes scénarios de conduite, mêmes demandes de reprise en main. La familiarisation a duré au total 1 h.

Après la phase d'entraînement et avant de commencer la phase de test en simulateur, les participants ont rempli un questionnaire afin de mesurer leurs connaissances. Afin de limiter les biais de familiarisation, chaque participant a été mis en situation dans trois blocs différents c'est-à-dire a réalisé trois fois la phase de tests avec des variantes, chaque bloc contenant les trois types de transition (reprise en main en situation critique ou non et transfert du contrôle au système). Chaque bloc commençait ainsi avec une phase de

conduite en environnement urbain avec intersection et usagers vulnérables. Puis, une portion autoroutière était introduite. Pendant chaque phase de conduite automatisée, les participants devaient regarder une vidéo sur une tablette afin de mesurer les effets d'une déconcentration. Après chaque bloc, un questionnaire était proposé au participant avant un retour avec le formateur. Ce questionnaire a permis de mesurer le niveau de confiance des usagers envers le système et plus généralement la conduite conditionnellement automatisée.

Les indicateurs étudiés sont les suivants :

- Le **temps de reprise en main**, mesuré entre le moment de la demande et le moment effectif de la reprise en main ;
- Le **temps de transmission**, mesuré entre le moment où le système indique qu'une conduite automatisée est possible et le moment effectif de la transmission de la tâche de conduite au système.
- La **qualité de la reprise en main** avec le temps minimum à la collision (TTC) après demande de reprise en main et la variance de la position dans la voie du véhicule pendant 1 mile après la reprise en main à la suite d'une demande.
- Le **niveau de confiance** calculé par le questionnaire.
- Le niveau de connaissance grâce au test de connaissances.

Les hypothèses prises pour l'étude sont les suivantes :

i. Le temps de reprise en main serait meilleur pour les participants ayant eu une phase de familiarisation et le temps de reprise en main est meilleur au fur à mesure que la simulation se déroule.
ii. La qualité de la reprise en main est meilleure dans le cas des usagers ayant reçu une familiarisation (TTC minimum supérieur et variance de position dans la voie plus faible) et en particulier un niveau d'interaction plus réaliste dans le cas de la formation par réalité virtuelle améliorerait la qualité de la reprise en main.
iii. La phase de familiarisation permettrait d'avoir des temps de transmission du contrôle au système plus faibles, d'autant plus faibles que la première phase aura été interactive, ces temps de transmission diminueraient avec la phase de test pour se stabiliser.
iv. Les participants des groupes d'entraînement sont plus susceptibles d'avoir un niveau de confiance plus élevé après avoir fait la phase du simulateur que les autres et ce niveau de confiance serait croissant au fur et à mesure que les demandes de reprise en main ont lieu pour finalement se stabiliser.
v. Les tests de connaissances seraient meilleurs chez les usagers ayant eu une phase de familiarisation tandis que la réalité virtuelle augmenterait le taux de réussite par rapport à de simples vidéos.
vi. La familiarisation par réalité virtuelle augmenterait le niveau de présence.

**Résultats**

Tout d'abord, sur les performances pures en termes de reprise en main dans le **cas des situations critiques**, **la première phase de familiarisation aurait des bénéfices et des avantages sur les performances des usagers et donc sur le temps de reprise en main, pour la première demande**. Cette observation est remarquée également entre les participants ayant reçu une phase de formation : **ceux ayant reçu de la réalité virtuelle auraient des meilleures performances**. Par ailleurs pour les reprises en main suivantes, aucune différence significative n'est observée entre les groupes ayant reçu une période de formation. De plus, les groupes ayant soit reçu aucune formation soit une formation sous forme de vidéo, ont des améliorations très nettes du temps de reprise en main entre la première et la troisième, marquée par une diminution du temps de reprise en main.

**Dans le cas des situations non critiques de reprise en main, le type de familiarisation affecte significativement encore le temps de reprise en main**. Pour la première reprise en main, les usagers ayant bénéficié d'une formation sous forme de réalité virtuelle de qualité ont des temps de reprise en main

nettement meilleurs que le groupe n'ayant rien reçu. Par ailleurs, pour les autres reprises en main, aucune différence significative n'est observée entre les groupes. En conséquence, le groupe n'ayant pas bénéficié de formation au début a considérablement vu son temps de reprise en main décroître entre la première demande et les suivantes.

Enfin, pour le temps de transmission, les mêmes résultats peuvent être notés : **la période de familiarisation a un effet positif sur ce temps de transmission par rapport au groupe non formé pour la première demande**. Pour le reste, les temps de transmission suivants ne sont pas significativement différents entre les groupes.

Concernant le TTC, des résultats similaires peuvent être notés : **les participants des groupes sans formation ou avec vidéo ont des TTC qui augmentent considérablement aux deuxième et troisième demandes de reprise en main.** En revanche, aucune remarque significative n'a été observée entre les groupes familiarisés sur les deuxième et troisième demandes de reprise en main en situations critiques. De même pour la variance de position dans sa voie, les groupes familiarisés avec réalité virtuelle semblent avoir des variances plus faibles que les autres, cette différence n'étant visible qu'à la première demande de reprise en main.

**Le niveau de confiance entre les différents groupes a été relativement impacté par l'expérimentation**. Dans les groupes ayant reçu une formation préalable par le biais de la réalité virtuelle, aucun changement notable n'est observée. En revanche pour les deux autres groupes, une amélioration du niveau de confiance s'est fait ressentir entre les blocs 1 et 3 du simulateur, ce qui signifie que **la pratique a permis aux usagers de combler le manque d'information initiale.** En effet, à la fin de l'expérimentation, les niveaux de confiance de tous les participants ne sont pas significativement différents en fonction du groupe d'appartenance initial.

En ce qui concerne le niveau de connaissance, l'étape de formation prouve par le taux de réussite au questionnaire son utilité :

- Groupe sans formation : 32 % ont obtenu un score moyen
- Groupe avec formation sous forme vidéo : 46 % ont obtenu un score moyen
- Groupe avec formation sous forme de réalité virtuelle de faible qualité : 63 % ont obtenu un score moyen
- Groupe avec formation sous forme de réalité virtuelle de haute qualité : 66 % ont obtenu un score moyen

Ainsi, **la phase de familiarisation est efficace et la réalité virtuelle est significativement meilleure pour transmettre les connaissances aux participants**, sans différenciation entre les deux modules de réalité virtuelle. De plus, la réalité virtuelle a permis aux participants en ayant bénéficié d'enregistrer les niveaux de présence les plus élevés, ce qui serait induit par un investissement dans l'environnement plus propice dans la réalité virtuelle.

Ainsi, les résultats de cette étude ont permis de mettre en avant que la **phase de familiarisation était bénéfique à la fois pour les reprises en main en situations critiques et non critiques**. Cependant, cet effet n'est significatif que pour la première demande de reprise en main. De plus, **la réalité virtuelle semble avoir un impact positif sur l'assimilation et les comportements des usagers**. En outre, une information, même sans utilisation d'une méthode plus interactive permet d'avoir des résultats meilleurs que sans aucune information. Cette première familiarisation avec le système, quelle qu'elle soit, permet ainsi à l'usager de comprendre le fonctionnement du système en partie pour optimiser la première utilisation. Cependant, **la phase de familiarisation n'a pas d'impact significatif sur les TTC globaux en dehors de la régularisation qui se produit entre la première demande de reprise en main et les suivantes**. L'hypothèse sur les variances de positionnement dans la voie après reprise en main est validée puisqu'une formation avec réalité virtuelle a permis d'avoir des variances plus faibles. En général, la formation sous forme de réalité virtuelle a montré un effet positif des pratiques interactives avec l'environnement. Les mêmes conclusions peuvent être tirées pour l'hypothèse de transmission : **les usagers formés ont réagi plus rapidement à une sollicitation du système.**

Sur le niveau de confiance, l'évolution des groupes ayant reçu un environnement de formation sous réalité virtuelle n'a pas eu lieu, ce qui n'a pas été le cas des autres groupes. Par ailleurs, la stabilisation du niveau de confiance au fur et à mesure de l'usage en simulateur a permis de confirmer l'hypothèse de stabilisation du niveau de confiance avec la pratique, quel que soit le groupe étudié.

Pour conclure, cette étude a mis en avant que l'utilisation **d'une formation préalable grâce à la réalité virtuelle est positive, quel que soit le coût de la technologie** : en effet, aussi bien la réalité virtuelle faible qualité a permis aux participants de maîtriser le système et d'améliorer leurs performances que le recourt à une réalité virtuelle de qualité. Ainsi la familiarisation des usagers avec la technologie, surtout sous forme interactive est bénéfique a une future meilleure utilisation. Enfin, la réalité virtuelle a prouvé que les temps de reprise en main et que les performances générales des usagers étaient meilleures notamment dans le cas de la première demande de reprise en main.

**Ces travaux jouent ainsi en faveur d'une adaptation du permis de conduire et des exigences spécifiques à la conduite automatisée.** D'autres travaux sont nécessaires afin de les appuye. Enfin, bien que ce travail s'intéresse au format reçu pour la formation, il appuie les travaux précédents qui font de la formation pratique une étape essentielle de l'apprentissage et de l'amélioration des performances des usagers concernant les véhicules automatisés.

### w. Le contenu de la formation comme critère de performance

L'étude précédente s'est consacrée à comparer le format de formation plus que le contenu en lui-même avec les trois différents types de familiarisation, comparés ensuite à un échantillon non formé. **L'étude dont il est question ci-après s'est, cette fois, plus intéressée au contenu de la formation et aux effets que le contenu pouvait avoir sur les usagers que sur une comparaison du mode de transmission** (Ebnali, Hulme, et al. 2019). En effet, l'objectif est ainsi d'évaluer les effets de la formation par simulateur et par vidéo sur les compétences des usagers en matière de conduite conditionnellement automatisée ainsi que sur leurs comportements.

Encore une fois, la littérature existante met en avant l'importance d'avoir une formation pluridisciplinaire dans le domaine de l'automatisation des mobilités, et non seulement une brève information sur le système déployé dans le véhicule (Ebnali, Hulme, et al. 2019). Trois approches sont identifiées dans cet article, elles recoupent également ce qui a été démontré dans la littérature jusqu'à présent :

- Les **compétences procédurales qui permettent de développer des compétences cognitives de bas niveau et qui vont permettre aux usagers d'avoir des pratiques sures**. Souvent, un usager va acquérir ces compétences par l'intermédiaire de manipulations et d'expériences sur le système, que ce soit dans un simulateur ou en conditions réelles. De manière générale, les formats de ces enseignements sont divers : instructions par un expert, école de conduite, simulateur.
- Les **compétences de haut niveau, qui comprennent la reconnaissance des aléas de l'environnement, les situations d'attention requise et la gestion des situations complexes de l'environnement**. Ce n'est que par une expérience multiple de la conduite que les usagers ne sont en mesure d'acquérir ces compétences de haut niveau cognitif, plus généralement connues sous le terme « expérience ».
- **L'attitude de l'usager et sa perception des situations**. Le système de formation vise à améliorer la perception des conducteurs et à les sensibiliser aux facteurs impliqués dans les accidents et plus globalement dans les facteurs qui menacent la sécurité. Ces facteurs comprennent la confiance, l'acceptabilité, la sur confiance, la sur estimation des compétences personnelles, l'estimation sure de la distance et l'autodiagnostic.

Les approches décrites plus haut appuient le fait que la formation est indispensable à une bonne maîtrise des systèmes mais également que cette bonne maîtrise s'acquiert par des expériences à bord des systèmes, ce qui est permis à bord d'un simulateur.

**Méthode**

A partir de ce qui a été décrit précédemment, **deux types d'entraînement ont été construits : l'un avec un niveau d'interaction faible sous forme de vidéo et l'un dans un simulateur.** Les deux programmes conçus sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

| | Simulateur | Vidéo |
|---|---|---|
| Résultats de l'apprentissage | (1) Compétences procédurales : améliorer la reprise en main et les comportements post reprise en main<br>(2) Compétences de haut niveau cognitif : améliorer la précision de la décision de reprise en main<br>(3) Attitude : calibrer la confiance et l'acceptation | |
| Type | Simulateur | Vidéo |
| Interaction | Oui | Non |
| Retours | Oui | Non |
| Média | 2 PC | 1 PC |
| Durée | 150 min | 45 min |
| Répétition | 3 fois | 3 fois |
| Contenu | • Activation des dispositifs<br>• Désactivation des dispositifs<br>• Voir quelles sont les capacités du système<br>• Voir les limitations du système<br>• Description de la reprise en main et comment réagir ? pratique de 3 demandes de reprise en main<br>• Dans quelles situations reprendre le contrôle ? pratique dans 3 scénarios<br>• Quand n'est-ce pas nécessaire de reprendre la main ? pratique dans 3 scénarios | • Voir comment activer les dispositifs<br>• Voir comment désactiver les dispositifs<br>• Voir quelles sont les capacités du système<br>• Voir quelles sont les limites du système<br>• Description de la reprise en main et comment réagir ? voir 3 vidéos de mise en situation<br>• Dans quelles situations reprendre le contrôle ? voir 3 vidéos de mise en situation<br>• Quand n'est-ce pas nécessaire de reprendre la main ? voir 3 vidéos de mise en situation |

*Tableau 6 : les deux modules de formation avec les principales différences de conception*

*Source : (Ebnali, Hulme, et al. 2019)*

**Trois groupes ont ainsi été créés : les non formés, les formés avec vidéo et enfin les formés sous simulateur.** Les hypothèses sont les suivantes :

i. Les performances procédurales des participants en simulateur sont attendues à être plus élevées.
ii. Les participants à bord du simulateur sont attendus à montrer une plus forte perception du risque.
iii. Le programme d'entraînement doit montrer un impact positif sur le niveau de confiance et l'acceptation.
iv. Les participants à bord du simulateur devraient avoir des meilleures performances de reprise en main par rapport aux autres participants formés.

**50 participants d'une université ont été recrutés** pour l'étude, dont 24 hommes et 26 femmes (âgés entre 19 et 37 ans), détenteurs de leur permis de conduite depuis au moins un an. Le simulateur était constitué de divers environnements : autoroute (110 km/h), urbain (40 km/h) et rural (60 km/h).

Les indicateurs utilisés sont globalement les mêmes que dans les études précédentes pour les performances procédurales : temps de reprise en main, vitesse et variance de la vitesse après la reprise en main et pendant 2 miles, l'écart-type de la position dans la voie après reprise en main et pendant 2 miles et le nombre de collisions enregistrées. Pour les performances cognitives de haut niveau, **la qualité de la reprise en main est**

**mesurée, calculée à partir du nombre de bonnes décisions prises par le conducteur**. Enfin, pour mesurer **l'influence de la formation sur les conducteurs, les participants ont dû remplir un questionnaire avant et après la formation**. Les réponses sont collectées selon une échelle de Likert en 7 points, qui a permis de catégoriser les réponses en trois catégories. Tous les scénarios de conduite présentés aux participants ont été les mêmes entre les différents groupes.

En général, deux types de scénarios leur ont été présentés : **demande de reprise en main et décision de reprise en main. Le premier type a été utilisé pour mesurer l'impact de la sensibilisation préalable sur des demandes de reprise en main** de 10 s, dans trois types de scénarios : route très sinueuse en environnement rural, trafic dense sur autoroute et véhicule d'urgence devant en environnement urbain. Par ailleurs, **l'évaluation de la décision de reprise en main a été évaluée pour mesurer l'impact de l'entraînement sur les compétences de haut niveau et la perception du risque**. Les participants ont été soumis à trois reprise en main nécessaires et trois autres non nécessaires, dont aucune n'a été signalée afin de laisser agir l'usager. Chaque événement des demandes de reprise en main a été répété trois fois et l'ordre de survenue a été aléatoire. **Au total, 16 participants ont été confrontés au simulateur, 17 à la vidéo et 17 n'ont reçu aucune information préalable.**

L'évaluation de tous les participant a été réalisée comme suit : une évaluation avant l'étape de formation et une évaluation après la formation pour les groupes concernés. Les évaluations se sont organisées sont forme de scénarios présentés aux participants, comme décrit précédemment.

**Résultats**

Les **participants des groupes qui ont suivi un entraînement préalable ont obtenu des meilleurs résultats pour le temps de reprise en main**, bien qu'aucune différence significative n'ait été observée entre les groupes formés (vidéo et simulateur). Ainsi les deux programmes d'information ont contribué à l'amélioration du temps de reprise en main. Sur la vitesse, aucune différence significative n'a été enregistrée entre les trois groupe ; la variance de vitesse montre en outre que le simulateur a eu des effets positifs sur le groupe qui en a bénéficié lors de la phase de formation, avec un écart-type plus faible. Enfin concernant l'écart-type des positions dans la voie, une différence significative est uniquement relevée entre le groupe témoin et le groupe qui a été formé en simulateur. **Le nombre de collisions enregistrées n'est pas significativement différent entre les groupes.**

**Sur la qualité des reprises en main, la formation dispensée a permis d'obtenir de meilleurs résultats que le groupe témoin avec des taux de réussite de 76 % et 63 % pour les deux groupes entraînés, respectivement en simulateur et par vidéo, et un taux de réussite de 56 % pour le groupe témoin.** En outre, le groupe formé en **simulateur a eu des résultats considérablement meilleurs que celui formé par la vidéo** à l'issue des deux évaluations. De plus, la comparaison des résultats avant et après conduite en simulateur montre un impact positif de la formation sur 4 des 6 décisions de reprise en main proposées.

Dans l'évaluation proposée avant mise en situation, 50 % des participants ont déclaré avoir un fort niveau de confiance en les véhicules automatisés, 32 % un niveau de confiance moyen et le reste un niveau de confiance faible. L'évaluation post entraînement a montré que le niveau de confiance était impacté par la formation puisque 63 % des participants ont déclaré avoir un niveau de confiance modéré contre seulement 24 % un fort niveau de confiance. La différence n'est pas significative entre l'évaluation post entraînement entre les deux groupes formés. De plus, **la comparaison entre les deux évaluations a montré que la formation avait fait évoluer le niveau de confiance des usagers vers une confiance plus modérée.**

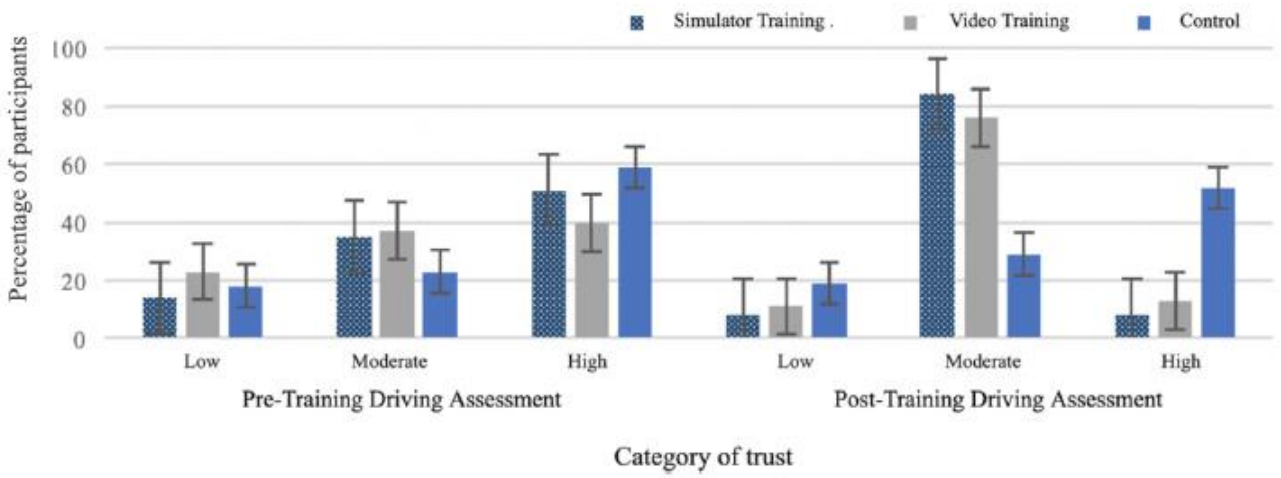



*Figure 57 : Graphique présentant l'évolution du niveau de confiance entre les trois groupes avant et après l'expérience de conduite*

*Source : (Ebnali, Hulme, et al. 2019)*

En conclusion, au niveau des hypothèses faites au départ, **les participants qui ont reçu une formation préalable montrent des compétences procédurales plus élevées que les autres et donc de meilleures capacités de reprise en main notamment**. En revanche, sur **la qualité de la reprise en main, la sensibilisation par vidéo n'a pas eu d'impact significatif en raison certainement de la faible interaction permise par le module**, contrairement à la simulation. Par ailleurs, la perception des risques a été meilleure chez les deux groupes formés que chez le groupe témoin. En ce qui concerne le niveau de confiance, l'expérimentation a montré qu'une formation, quelle qu'elle soit pourrait aider les conducteurs à avoir une image moins biaisée de l'automatisation. En revanche, contrairement à ce qui était attendu, la formation a plutôt eu pour effet de rétablir un niveau de confiance plus modéré chez les usagers ayant bénéficiés d'une formation.

Ainsi cette étude s'est attachée à démontrer qu'une formation des usagers pouvait les amener à avoir de meilleures performances de reprise en main et de contrôle sur le véhicule mais aussi permettre une perception plus juste de l'environnement et des situations. **Par ailleurs, le niveau de confiance semblerait être lié au niveau de formation : un rétablissement à un niveau de confiance modéré dans l'étude montre que les participants avaient pour la plupart une sur confiance en le système et ses capacités**. La formation a donc permis de rétablir une perception plus modérée. De plus, la simulation aurait des bénéfices plus notables qu'attendus étant donné que la qualité des interventions des usagers a été particulièrement bonne chez le panel formé en simulateur, peu d'impacts ont été notés sur le panel formé par la vidéo : le niveau **d'interaction semble être un levier de formation**, en accord avec les travaux de la littérature.

### x. Le manque de formation comme faille des systèmes

Enfin, si on se place du point de vue inverse qui ne consisterait pas à chercher en quoi la formation permet d'améliorer les performances et la perception des véhicules automatisés, il peut être intéressant de chercher **en quoi le manque de formation et la réalisation de tâches secondaires permises par l'automatisation peuvent nuire aux capacités de reprise en main des conducteurs** (Payre, et al. 2017). Les travaux présentés ici sont plus anciens et ont servi de support aux précédents travaux, c'est pourquoi, nous ne rentrerons pas autant dans les détails de réalisation de l'analyse que dans les enquêtes précédentes. De même, la présentation tardive de ces travaux dans la note bibliographique est due à la démarche inverse proposée, que les travaux précédents permettent de mieux appréhender. **Cette étude permet, dans le cadre de cette note bibliographique, de prendre le problème à l'envers et de montrer encore une fois, que déployer les véhicules automatisés ou, à défaut, des véhicules équipés d'ADAS sans aucune information a minima sur le fonctionnement et leur utilisation, est dénué de sens et sans fondement.**

**Méthode**

La méthode de cette étude a reposé sur une combinaison de **plusieurs aspects : deux groupes dont l'un a bénéficié d'une formation simple uniquement dans un simulateur et l'autre a bénéficié de trois étapes de**

**formation dont un texte sur les VA et un questionnaire associé, un tutoriel vidéo et enfin une pratique élaborée dans un simulateur.** De plus, les participants ont dû, **dans les deux cas, pratiquer une tâche autre que la conduite pendant l'activation du système** : soit des anagrammes soit un jeu de labyrinthe (les deux sur papier). Ainsi, quatre types d'environnements ont été conçus et chaque participant a dû gérer deux situations d'urgence mettant en scène des défaillances du système qui ont nécessité une reprise en main non prévue. L'appareil de simulation a été conçu par les chercheurs de l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR), devenu aujourd'hui l'Université Gustave Eiffel (UGE).

**113 participants** ont été recrutés pour cette étude, d'âge moyen 40 ans, tous détenteurs du permis de conduire, dont 49 % d'hommes. En fonction de leur âge, de leur sexe et d'une première série de tests, les participants ont donc été affectés à **l'une des quatre situations (entraînement simple ou élaboré, avec ou sans tâche secondaire).** Chaque groupe compte environ le même nombre de participants. La situation dans laquelle les participants sont ensuite projetés dans le simulateur est une portion d'autoroute à 2*2 voies. La simulation a duré 24 min environ ; les deux demandes de reprise en main d'urgence sont intervenues respectivement à 110 km/h avec aucun véhicule dans le voisinage proche de l'ego et à 50 km/h avec du trafic à 38 m devant. De plus, **pendant la conduite, deux événements de faible fiabilité du système ont été enregistrés, de sorte que l'usager ait le choix de reprendre la main ou non sur le véhicule**. Enfin, les participants ont répondu à un questionnaire de confiance.

Dans ce travail, les indicateurs utilisés ne sont pas tous les mêmes que ceux définis précédemment. Cependant, le détail de ces indicateurs n'est pas nécessaire à la présentation des résultats globaux et de l'impact de la formation sur les comportements des usagers dans cette note. De même, étant donné que ces travaux ne sont pas très récents, les hypothèses ne sont pas décrites ici mais disponibles dans l'article associé (Payre, et al. 2017).

**Résultats**

Les résultats sur le temps de reprise en main ont été les mêmes que ceux des travaux ultérieurs et décrits plus haut : **l'impact de la sensibilisation a été positif avec des temps de reprise en main plus faible pour les participants ayant reçu un entraînement plus élaboré** et de manière plus générale, le temps nécessaire à l'intervention du conducteur a été meilleur la deuxième fois. En ce qui concerne la réalisation d'une tâche secondaire, sans surprise, le temps de reprise en main a été plus long pour les participants réalisant l'anagramme ou le labyrinthe.

Plus précisément, l'étude s'est intéressée à analyser l'impact de l'exécution d'une tâche secondaire sur les capacités de reprise en main des conducteurs. Les détails ne sont pas donnés ici mais il apparaît que **la qualité de la reprise en main est affectée parce que les usagers non concentrés sur la route ne sont pas capables de réagir à la fois avec le volant et les pédales**. En outre, les participants entraînés ont moins régulièrement jeté des regards sur la route que les autres pendant l'exécution de la tâche, ce qui va dans le sens d'un niveau de confiance accru par la formation.

Ainsi, cette étude a montré, que l'absence de formation pouvait constituer un manque pour les conducteurs dans leurs capacités à intervenir et à être attentifs et qu'au contraire, une formation préalable était positive sur les usagers. Par ailleurs, la formation est non seulement utile mais d'autant plus efficace qu'elle est complète et selon plusieurs modules (aussi bien des vidéos que de la pratique). **Un enjeu majeur pour la conception de directives et d'un cadre réglementaire concerne l'aspect de la reprise en main car il ne s'agit pas seulement d'activer ou de désactiver un système mais d'être en mesure de reprendre le contrôle du véhicule à n'importe quel instant**. **La distraction est aussi un enjeu à prendre en compte** alors même que mes conducteurs voient l'arrivée des véhicules automatisés comme une perspective de gain de temps pendant la conduite, potentiellement à effectuer d'autres tâches. Enfin, le niveau de confiance des usagers semble être positivement lié à la formation, contrairement au précédent article (Ebnali, Hulme, et al. 2019). Quoiqu'il en soit, confiance et formation sont deux notions corrélées d'après les travaux réalisés.

## *8.* Des propositions de modèles et de protocoles de formation

Enfin, une dernière partie du **volet information et formation du conducteur s'intéresse à présenter des travaux sur la conception de modèles et de protocoles de formation**. Il ne s'agit plus seulement de montrer que la formation a un impact positif sur la maîtrise des systèmes et les performances des conducteurs mais de chercher à concevoir des modèles de formation.

### y. Construction d'un modèle d'enseignement appuyé sur l'existant

Dans l'article ci-dessous, il est question de concevoir un système d'enseignement sur les systèmes d'aide à la conduite lors des premières utilisations par les conducteurs (A. Boelhouwer, A. P. van den Beukel et M. van der Voort, et al. 2019). **La méthodologie repose sur l'observation pendant l'apprentissage de la conduite, des instructions et des conseils des moniteurs d'auto-école aux élèves, et plus généralement des moyens de communication utilisés.** Il ne s'agit donc pas précisément de concevoir un nouveau module de formation mais de **s'inspirer de l'existant pour réfléchir et consolider l'approche tournée sur les véhicules automatisés**.

**Méthode**
Pendant cette étude ont été enregistrées 17.5 heures de conduite aux Pays-Bas avec 8 moniteurs différents et 16 élèves. La moyenne d'âge des instructeurs était de 55 ans avec une moyenne de 19 ans d'expérience. Les élèves étaient en moyenne âgés de 19 ans et devaient avoir reçu au moins 5 leçons de conduite pour participer à l'expérimentation ; en moyenne, ils avaient déjà reçu 27 leçons.

Les sessions se sont déroulés avec présence dans le véhicule de deux caméras : une tournée pour analyser l'intérieur du véhicule et l'autre, l'environnement de conduite et la route. Les situations de conduite devaient contenir autant de l'autoroute, que de l'environnement urbain et du rural. La communication entre le moniteur et l'élève étaient prise en notes par un expérimentateur assis sur le siège arrière.

Pour l'expérimentation, trois indicateurs ont été analysés : le comportement de l'instructeur, ses paroles et enfin l'environnement de conduite. Ce dernier a été catégorisé pour chaque situation en trois niveaux de complexité. **L'analyse a permis d'identifier des modèles d'instructeur en fonction des comportements et des discours observés et grâce à des entretiens réalisés avec les tuteurs en fin de sessions.** En particulier, ces entretiens comprenaient des questions sur la manière dont ils adaptaient leurs commentaires aux élèves et à l'environnement.

**Résultats**
Les premiers résultats montrent que **les instructeurs se sont adaptés à leur élève et au niveau de conduite** qu'ils avaient afin de les faire s'exercer sur des compétences particulières à améliorer. De plus, les **instructeurs adaptaient leurs retours au niveau de compétence de l'élève**. Les situations complexes étaient explicitées aux élèves inexpérimentés avant même qu'ils y soient confrontés. A l'inverse, les tuteurs laissaient les élèves expérimentés agir avant de leur donner des instructions. En ce qui concerne la communication, les instructeurs explicitaient plus les instructions en début de session qu'à la fin avec des discours à la fois construits et explicatifs et des gestes. Ainsi le niveau de détails était petit à petit diminué et seulement en cas d'erreurs répétées des explications plus poussées étaient données.

Les situations les moins complexes ont semblé orienter les discussions vers du lien social et de la réflexion tandis que les situations les plus complexes ont laissé des discussions plus courtes et orientées vers l'action. De même **les gestuelles étaient différentes en fonction des comportements des élèves**, les instructeurs ayant par exemple des gestes plus exagérés et précis lorsque l'attention de l'élève à l'environnement était mauvaise.

**Leçons tirées de cette expérience**
**Pendant la phase d'apprentissage où un système jouerait le rôle de l'instructeur, il peut ainsi être utile de mesurer le niveau d'acclimatation de l'usager avec l'automatisation.** Ensuite, les situations qui posent

problème au conducteur pourraient être réalisées plus souvent afin d'améliorer ses compétences. De la même manière, le système pourrait donner plus de précisions et d'explications au conducteur sur des situations courantes et moins complexes. Au fur et à mesure de la montée en compétences du conducteur, la quantité d'informations pourrait diminuer et finalement être uniquement ciblée sur des erreurs répétées.

La quantité d'informations avant l'utilisation pourrait être aussi adaptée au niveau de connaissances de l'usager sur les niveaux d'automatisation et le système. Certaines situations seraient alors omises pour les usagers inexpérimentés au début.

Enfin, le système pourrait transmettre au conducteur certaines anomalies détectées sur le véhicule comme par exemple le masquage d'un capteur ou d'une caméra, ce qui affaiblirait les performances du système et aurait des conséquences sur le comportement du véhicule.

**Ainsi, cette étude s'est intéressée à comprendre le modèle d'enseignement de la conduite par des moniteurs à leurs élèves afin de pouvoir transposer les résultats à la conduite de véhicules équipés d'ADAS pour des véhicules partiellement automatisés**. Cette étude montre que le type de communication, sa durée sont à prendre en compte pour adapter la formation aux compétences du conducteur et à l'environnement. Enfin, la gestuelle de l'examinateur semble être utilisée pour corriger l'élève : **d'autres études quantitatives devraient permettre de montrer l'adaptabilité des moniteurs à l'élève, élaborer des systèmes de formation des conducteurs et établir des recommandations.**

### z. Conception d'un simulateur équipé d'un tuteur numérique destiné à être intégré dans les véhicules équipés d'ADAS

L'étude dont il est question dans la suite fait écho à la précédente puisque cet article est la suite de celui présenté précédemment (A. Boelhouwer, A. P. van den Beukel et M. van der Voort, et al. 2020). Le travail propose de **concevoir un tuteur numérique qui permettrait au conducteur de se familiariser et d'améliorer ses compétences pendant la conduite.** L'étude analyse les impacts de ce simulateur sur la qualité de la reprise en main et l'utilisation des systèmes. Le tuteur numérique dont il est question utilise la réalité augmentée avec des supports audio. Il est conçu pour être utilisé dans des véhicules réels.

Le tuteur numérique est conçu selon trois étapes. D'abord, il permet **de définir et d'introduire l'un des ADAS pendant la conduite du conducteur**, uniquement pendant des phases de conduite peu complexes. L'introduction concerne à la fois le fonctionnement du dispositif, ses capacités et ses limites. Puis, le **conducteur peut tester le dispositif étant donné que le tuteur numérique est en mesure de donner des retours directs et immédiats**. Enfin, le tuteur est capable de **donner des informations spécifiques sur le système au conducteur en fonction des situations rencontrées**. Les situations les plus rares et potentiellement les plus critiques peuvent être abordées par le tuteur dans des situations plus fréquentes et similaires afin de ne pas omettre de situations importantes. Chaque nouveau système est introduit lorsque le conducteur a parcouru un certain nombre de kilomètres de manière sure. **Le choix de concevoir un tuteur numérique est notamment motivé par le fait de pouvoir être interactif avec le conducteur et de s'adapter aux besoins des conducteurs, ce qui est moins coûteux et plus aménagé.**

De manière plus précise, la communication du tuteur pendant la conduite doit être adaptée à la situation rencontrée pour ne pas déconcentrer l'usager et être cohérent. Le temps de communication doit aussi être adapté à la situation rencontrée.

Dans cette étude, **la comparaison est établie entre le tuteur numérique conçu et les informations transmises par une simple brochure sur l'utilisation d'un véhicule automatisé pendant trois sessions de conduite**. Dans chaque scénario, les participants devaient choisir s'ils faisaient confiance au système ou non. Dans le cas d'une reprise en main, le temps de reprise a été analysé. Pendant la phase d'information, l'un des groupes a reçu des indications par le tuteur et l'autre en lisant une brochure sur le fonctionnement des systèmes (10 min). Les trois sessions se sont déroulé comme suit : la première directement après la phase d'information, la deuxième directement après la première et la troisième, deux semaines après le deuxième.

Pendant les sessions, le tuteur numérique a été désactivé pour le groupe dans le simulateur équipé du tuteur, pour ne pas biaiser les résultats entre les deux groupes.

Les hypothèses de cette recherche sont les suivantes : le tuteur numérique doit permettre aux participants de mieux prendre en compte les capacités du système et à un usage plus correct. De plus, les participants avec tuteur devraient avoir une réaction plus rapide lors d'une demande de reprise en main pour les situations critiques.

**Méthode**

**38 conducteurs** ont participé à cette étude, dont 23 femmes et 15 hommes. 19 ont fait partie du groupe informé par la lecture de la brochure et 19 ont été formés dans le simulateur avec tuteur numérique. Encore une fois, les participants étaient membres ou employés de l'Université de Twente. La plupart des participants conduisaient régulièrement et avaient déjà expérimenté le régulateur de vitesse. 7 et 2 avaient déjà utilisé respectivement l'ACC et le maintien dans la voie. Le niveau d'affinité à la technologie a été déterminé par l'échelle ATI (*Affinity for Technology Interaction)* qui va de 1 à 6 (échelle croissante). En moyenne, le niveau d'affinité des participants avec la technologie a été de 3.9.

Le simulateur utilisé est celui de l'Université de Twente, équipé de dispositifs de conduite partiellement automatisée (ACC, maintient dans la voie, détection d'obstacles, détection des feux et des priorités, détection des marquages prioritaires).

Avant de commencer le test en simulateur, l'un des groupes a lu les instructions données dans la brochure, sans aucune adaptation au conducteur. L'autre groupe a donc reçu des explications par le tuteur numérique sur les cinq ADAS présentés ci-dessus, ainsi que des projections visuelles et des explications orales. Pendant cette phase didactique, les étapes décrites précédemment ont été suivies par le tuteur (explications, précisions lors d'une phase de conduite et adaptation aux besoins des conducteurs, retours constructifs en fonction des performances des conducteurs).

A la suite de cette première phase, les participants ont été immergés dans l'environnement de tests. Chaque groupe a été mis en situation sur les trois sessions. La première session a été commentée et explicative pour les participants du groupe tuteur tandis que le groupe témoin a commencé la session juste après la lecture. Cette session était composée de 10 scénarios et a duré environ 1 heure. Après une pause de 10 min, la session 2 a été lancée, elle contenait 8 scénarios et a duré 30 min. Enfin, pour la session 3 (les groupes ne contenaient plus que 11 participants chacun), le déroulé a été similaire à la session 2. Les scénarios ont été ciblés sur les ADAS présentés.

Cette étude s'est intéressée à trois variables. L'acceptation de la méthode de formation dont un questionnaire a été rempli après la première session est le premier indicateur. L'usage approprié de la conduite partiellement automatisée est le deuxième. Chaque scénario contenait une « zone d'événement » au cours de laquelle l'automatisation devait être activée ou désactivée. Pour les événements nécessitant la désactivation de l'automatisation, la zone d'événement commençait au moment où le participant pouvait désactiver l'automatisation et freiner pour éviter un accident. Pour les scénarios dans lesquels l'automatisation pouvait être laissée, la zone d'événement commençait directement après la route droite au début du scénario spécifique. Il a été déterminé avant l'expérience si un scénario exigeait que l'automatisme soit désactivé, sur la base des informations du système utilisées dans la formation du conducteur. Quatre catégories ont été formées sur cette variable : correcte reprise en main, correcte fiabilité (si le système devait être laissé), incorrecte reprise en main, incorrecte fiabilité. Enfin, la dernière variable est la qualité de la reprise en main, mesurée par le TTC, le taux de décélération et l'accélération latérale. Dans le cas de la session 1 où les participants du groupe tuteur ont appréhendé les systèmes, ces indicateurs ont aussi été mesurés car ils correspondent à la première prise en main.

**Résultats**

Tout d'abord, **le nombre de collisions enregistrées a été supérieur pour le groupe témoin** (avec lecture de la brochure) dans chacune des sessions. De plus, pendant la première session, le groupe témoin a plus souvent eu une mauvaise utilisation des ADAS que le groupe tuteur. Certains scénarios ont particulièrement été mal interprétés, l'action à effectuer a été mauvaise dont par exemple concernant la reconnaissance des objets ou des marquages prioritaires. **Bien que le groupe témoin ait plus souvent une mauvaise fiabilité de l'automatisation, le groupe tuteur a eu des reprises en main incorrectes lors de la sessions 3**. Le groupe tuteur n'a ainsi parfois pas utilisé le système dans la session 3 alors qu'il aurait pu le faire en toute sécurité.

Le graphique ci-dessous montre ainsi que globalement, le groupe témoin a été plus enclin à avoir des mauvaises utilisations de l'automatisation. De même, le groupe tuteur a eu une meilleure utilisation de l'automatisation en particulier pendant les sessions 1 et 2. Cependant, une différence significative a été enregistrée uniquement sur la session 1. De manière surprenante enfin, le groupe tuteur a largement préféré reprendre le contrôle du véhicule alors que le système était tout à fait capable de gérer la situation dans la session 3.

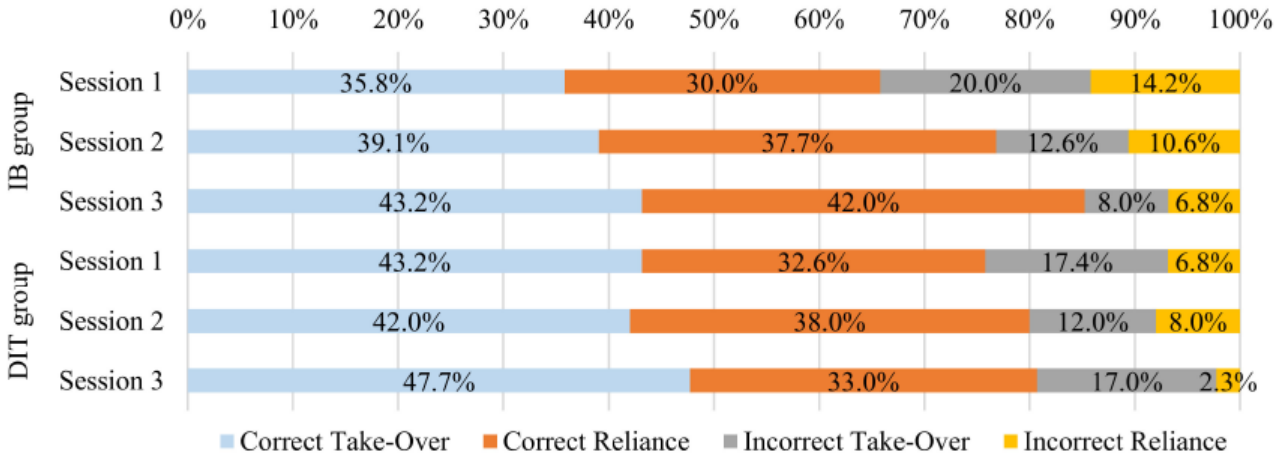



*Figure 58 : Graphique présentant les résultats de l'utilisation des ADAS pour les deux groupes pour les trois sessions*

*Source : (A. Boelhouwer, A. P. van den Beukel et M. van der Voort, et al. 2020)*

**Au niveau de la qualité de la reprise en main, sur 3 des 5 scénarios de la session 1, le groupe tuteur a eu des TTC plus grands que le groupe témoin, en particulier, leur reprise en main a été plus rapide**. Par exemple, le TCC du scénario de non détection d'un obstacle par le système a été de 3.67 s pour le groupe témoin contre 6.19 s pour le groupe tuteur. Sur les sessions 2 et 3, en moyenne, le groupe témoin a repris la main plus lentement que le groupe tuteur. Les décélérations sont corrélées aux prises de décisions tardives du groupe témoin avec des décélérations plus fortes pour le session 1. Pour le reste, les deux groupes n'ont pas montré de différence significative sur la décélération. En ce qui concerne l'accélération latérale, aucune différence significative n'a été mesurée entre les groupes sur les différentes sessions.

En termes d'acceptabilité, les participants qui ont expérimenté le tuteur numérique ont déclaré qu'il était simple d'utilisation (5.79/7). Les participants ont apprécié le tuteur et ne l'ont pas trouvé ennuyant. De plus, le groupe tuteur a même déclaré l'intention de l'utiliser s'il était dans leur véhicule partiellement automatisé (5.05) et qu'ils seraient capables de l'utiliser (5.87).

Les résultats complets sont présentés ci-dessous. Il est impossible de comparer les résultats étant donné que les groupes n'ont expérimenté qu'une des deux méthodes.

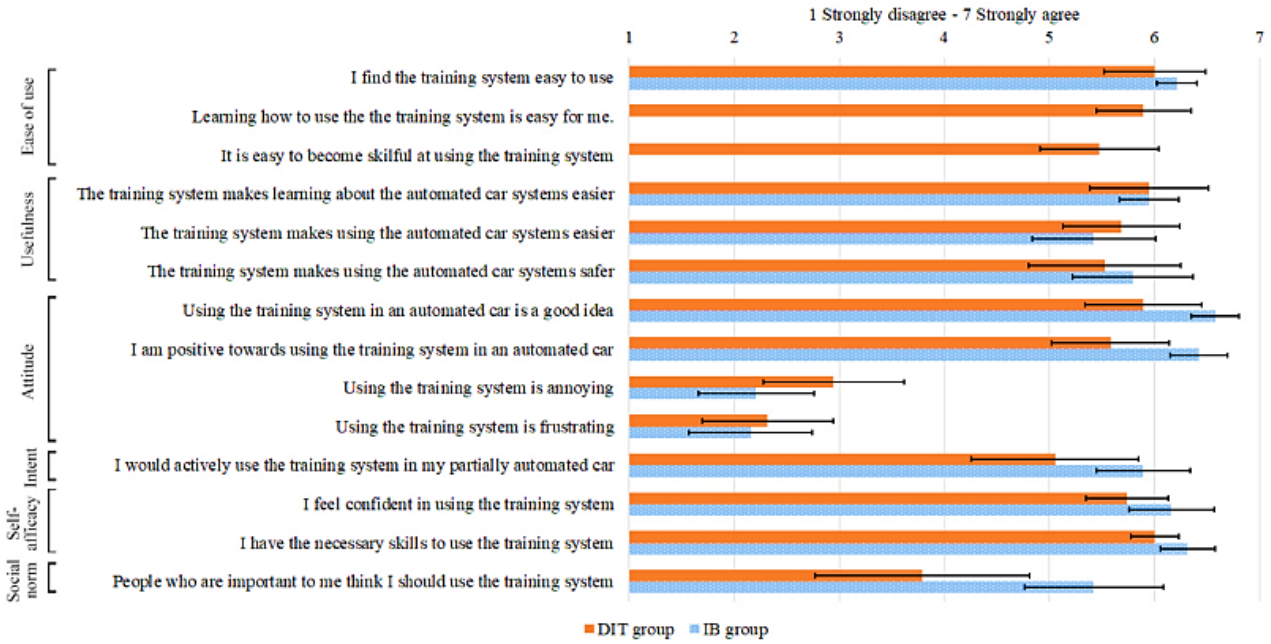



*Figure 59 : Présentation des résultats de l'acceptabilité en fonction de la méthode de formation reçue*

*Source : (A. Boelhouwer, A. P. van den Beukel et M. van der Voort, et al. 2020)*

En conclusion, cette étude a tenté de développer un simulateur équipé d'un tuteur numérique qui pourrait guider les conducteurs lors de leur première utilisation des dispositifs de conduite partiellement automatisés. Par cette conception, **les chercheurs souhaitent mettre à jour que les besoins de formation doivent être réfléchis**. Des recherches complémentaires sur la localisation des images pour permettre une assimilation accrue des compétences doivent être entreprises. Il est aussi important de noter que l'utilisation d'un tuteur numérique, certaines considérations sur les regards et la potentielle distraction du conducteur doivent être étudiées, comme le recommande la NHTSA[18][19]. Enfin, le travail sur une formation pratique du conducteur est à continuer.

### aa. Construction d'un cadre de validation des aptitudes des conducteurs face aux ADAS

Pour conclure cette note bibliographique sur le thème de l'information et de la formation, l'article suivant semble assez opportun puisqu'il s'intéresse aux **nouvelles compétences de la conduite automatisée liées à la supervision et à l'intervention** (van den Beukel, et al. 2021). Ce travail contient la conception d'un cadre de validation des aptitudes des conducteurs face aux ADAS[20].

Afin d'évaluer la compétence de conduite qui inclut l'utilisation d'ADAS, les chercheurs ont développé « D-Brief », un indice d'évaluation du comportement du conducteur et un formulaire d'évaluation. Le D-Brief construit comprend 19 aspects comportementaux considérés comme caractéristiques d'une conduite sure lors de l'utilisation d'un ADAS. **Ce cadre est destiné à être appliqué par les instructeurs et les examinateurs de conduite.** L'autoréflexion étant un aspect important de la formation à la conduite d'aujourd'hui et déjà cité plus haut, le D-Brief est également destiné à cette fin. Ainsi, le but de cette étude est d'évaluer la qualité de ce cadre d'évaluation.

[18] National Highway Traffic Safety Administration. 2016 Update to "Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles". 2016. Available online: http://www.aamva.org/NHTSADOTAutVehPolicyUpdate_Jan2016

[19] National Highway Traffic Safety Administration. Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices. 2013. Available online: https://www.federalregister.gov/documents/2014/09/16/2014-21991/visual-manual-nhtsa-driver-distraction-guidelines-for-in-vehicle-electronic-devices

[20] Cet article très récent est très riche, le résumé qui figure dans cette note bibliographique représente un parti pris par rapport aux objectifs de la note. Le résumé n'est donc pas exhaustif sur l'ensemble de l'étude réalisée.

**Méthode**
Il est conçu selon deux parties distinctes : **l'évaluation comportementale et l'évaluation de la capacité des conducteurs à contrôler les ADAS**. La première partie est répondue selon une échelle en 4 points variant de « presque jamais » à « presque toujours » et la seconde partie suivant une échelle en 4 points variant de « pas du tout d'accord » à « complètement d'accord ». Le but du D-Brief est d'améliorer l'évaluation de la pratique de la conduite.

La description de la conception et de la réalisation de cet outil sont détaillés dans l'article (van den Beukel, et al. 2021). Il n'a pas paru utile d'en faire état ici dans la mesure où le travail se base sur une vaste revue de littérature et s'inspire des procédures aux Pays-Bas. L'objet de cette note bibliographique est pour nous de faire état des premiers travaux sur le sujet de l'information et de la formation plus que de rentrer dans des propositions concrètes, alors que les discussions émergent dans l'écosystème.

Afin d'évaluer les performances du modèle, l'outil a été testé pendant **une expérimentation sur 12 conducteurs novices avec 2 examinateurs présents pendant une période creuse de la journée pendant les vacances scolaires en été 2019**. L'étude se focalise sur l'utilisation de l'ACC sur autoroute. Les participants ont été encore une fois recrutés dans l'Université de Twente, pour des usagers âgés au maximum de 27 ans. Ils avaient tous entendu parler de l'ACC mais n'avaient jamais eu l'occasion d'en tester un.

Le test s'est déroulé avec possibilité de conduite manuelle ou automatisée sur autoroute pendant 40 min. L**'évaluation a été double : soit une autoévaluation des participants soit une évaluation par l'examinateur**. Par ailleurs, les variables utilisées ont été les performances de conduite, le contrôle de l'ACC par le conducteur et le nombre de changement de voie. La première variable a été évaluée par 29 questions, la deuxième par 11 questions et enfin la dernière avec juste le nombre de changement de voies. Le véhicule utilisé a été une Toyota C-HR de 2018, équipé d'un ACC et de tous les capteurs et caméras nécessaires à la réalisation du test. De la même manière que l'étude déjà présenté précédemment (A. Boelhouwer, A. P. van den Beukel et M. van der Voort, et al. 2019), une caméra a été placée dans le véhicule face aux passagers et une seconde face à la route. Avant utilisation de l'ACC, les participants ont reçu des indications sur le système et quelques notions. Les participants devaient utiliser le dispositif aussi souvent que possible. Plusieurs essais ont été réalisés, entre chacun d'eux le remplissage du questionnaire d'évaluation.

**Résultats**
Il est utile de préciser, dans la présentation des résultats, que pour que le D-Brief soit considéré comme un succès, une exigence de base est la capacité de distinguer les différences de performance de conduite entre la conduite manuelle et la conduite avec l'ACC. **L'analyse repose donc sur la comparaison de ces deux modes.**

Les premiers résultats montrent, par des analyses statistiques, que **les participants ont des performances moins bonnes en conduite automatisée qu'en conduite manuelle**. L'évaluation des experts a montré des comportements moins bons dans le cas de la conduite avec ACC, ce que les participants ont expliqué comme une volonté de ne pas gêner le trafic, notamment dans les situations de changement de voie. De manière générale, l'évaluation des experts a montré que les prises de décisions concernant la fluidité du trafic et la gêne des autres usagers n'étaient pas bonnes et que les participants avaient un comportement dégradé avec l'ACC. Notamment, la gestion des vitesses et des distances de sécurité est moins bonne avec l'ACC qu'en conduite manuelle.

En outre**, la prise en compte des autres et des intérêts des autres usagers semble, sur l'échantillon, être une performance améliorée lors de l'utilisation de l'ACC par rapport à la conduite manuelle**.

En ce qui concerne le trafic dans sa globalité, l'utilisation de l'ACC semble pousser les participants à tenir plus compte des distances et des espaces autour du véhicule, mais ces résultats ne semblent pas statistiquement significatifs. Dans l'ensemble, l'essai a permis de constater que l'utilisation de l'ACC gênait les autres usagers

de la route lors des changements de voie, mais qu'elle ne semblait pas avoir influencé d'autres aspects de la perception des situations routières.

En ce qui concerne les changements de voie, l'étude montre que le nombre de changements de voies avec ACC est inférieur qu'en conduite manuelle. En ce sens, **l'étude s'aligne avec d'autres résultats antérieurs qui montrent que l'ACC a des répercussions sur les changements de voie.**

Enfin, la comparaison des questionnaires remplis par les participants et les experts montre que dans la plupart des cas, les évaluations ne sont pas les mêmes. Sur les 29 items, en moyenne, uniquement 14 ont été évalués de la même manière pour l'ACC et 16 pour la conduite manuelle. Mais d'un autre côté, les évaluations chiffrées entre les deux évaluations étaient assez proches puisque pour la conduite manuelle, la note d'auto-évaluation était de 3.31 contre 3.46 pour l'expert et en conduite avec ACC, le score était de 3.32 en auto-évaluation et de 3.30 pour l'expert. **Les résultats montrent enfin que de manière générale, les experts ont mieux évalué la compétence des participants en conduite manuelle que les participants eux-mêmes.**

En matière d'évaluation, les participants qui ont obtenu la meilleure note ont eu tendance à sous-estimer leur performance alors qu'à l'inverse, les participants qui ont obtenu les plus mauvaises notations ont eu tendance à se surestimer. Cette observation est faisable en conduite manuelle aussi bien qu'en conduite avec ACC.

**Au niveau de la contrôlabilité, les experts ont jugé que les participants avaient compris le fonctionnement de l'ACC et qu'ils étaient capables de l'utiliser sur la route.**

Pour conclure, cette évaluation montre d'une part qu'il semble y avoir des différences significatives entre les performances de conduite des usagers entre la conduite manuelle et la conduite avec ACC mais qu'à l'inverse l'évaluation ne montre pas de différence significative. Ceci illustre le fait que les participants avaient généralement une performance constante dans les deux conditions. Ils étaient prêts à s'exécuter. Comme ils n'avaient pas d'autre tâche que de conduire et d'utiliser le véhicule, ils pouvaient consacrer tous leurs efforts à une participation sûre à la circulation. Les situations de circulation étant relativement « faciles » pendant l'essai routier, les circonstances n'ont donc pas été un facteur de complication. Au vu de ces observations, le **fait que la performance globale était significativement inférieure avec l'ACC par rapport à la condition manuelle souligne que le système d'assistance a eu une influence remarquablement négative sur la performance de conduite des participants. Par conséquent, le D-Brief a réussi à répondre à l'exigence de base : il est capable de distinguer les différences de performance de conduite entre la conduite manuelle et la conduite avec ADAS.**

En revanche, une évaluation pas des instructeur d'auto-école aurait été une plus-value à l'étude et est un enjeu à prendre en compte dans des futurs travaux. De plus, dans le cadre d'un travail collaboratif de l'état de l'art, les chercheurs précisent qu'un travail sur les pratiques des autres pays d'Europe serait utile pour permettre une réflexion commune.

# III. Bibliographie


Bakalos, Nikolaos, Antonios Litke, et Nikolaos Papadakis. «Drive2theFuture : Needs, wants and behaviour of "Drivers" and automated vehicles users today and into the future.» 2020.

Boelhouwer, A., A.P. van den Beukel, M.C. van der Voort, C. Hottentot, R.Q. deWit, et M.H. Martens. «How are car buyers and car sellers currently informed about ADAS? An investigation among drivers and car sellers in the Netherlands.» *Elsevier - Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2020.

Boelhouwer, A., A.P. van den Beukel, M.C. van der Voort, et M.H. Martens. «Should I take over? Does system knowledge help drivers in making take-over decisions while driving a partially automated car.» *Elsevier - Transportation Research Part F*, 2019.

Boelhouwer, Anika, Arie Paul van den Beukel, Mascha van der Voort, et Marieke Martens. «Designing a Naturalistic In-Car Tutor System for the Initial Use of Partially Automated Cars: Taking Inspiration from Driving Instructors.» 2019.

Boelhouwer, Anika, Arie Paul van den Beukel, Mascha C. van der Voort, Willem B. Verwey, et Marieke H. Martens. «Supporting Drivers of Partially Automated Cars through an Adaptive Digital In-Car Tutor.» *Information*, 2020.

CarGurus. «Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - Canada.» 2021.

CarGurus. «Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - Royaume-Uni.» 2021.

CarGurus. «Self-Driving Vehicle Sentiment Survey - United States.» 2021.

Ebnali, Mahdi, Kevin Hulme, Aliakbar Ebnali-Heidari, et Adel Mazloumi. «How does training effect users' attitudes and skills needed for highly automated driving.» *Elsevier - TRansportation Research Part F*, 2019.

Ebnali, Mahdi, Richard Lamb, Razieh Fathi, et Kevin Hulme. «Virtual reality tour for first-time users of highly automated cars: Comparing the effects of virtual environments with different levels of interaction fidelity.» *Elsevier - Applied Ergonomics*, 2020.

Haghzare, Shabnam, Jennifer L. Campos, Katherine Bak, et Alex Mihailidis. «Older adults' acceptance of fully automated vehicles: Effects of exposure, driving style, age, and driving conditions.» *Elsevier*, 2021.

Jamson, Samantha, et Foroogh Hajiseyedjavadi. «TRUSTONOMY - What affects a driver's trust in automation? A methodology using objective and subjective measures.» 2021.

Kacperski, Celina, Florian Kutzner, et Tobias Vogel. «Consequences of autonomous vehicles: Ambivalent expectations and their impact on acceptance.» *Elsevier - Transportation Research Part F : Psychology and behavior*, 2021.

Kacperski1, Celina, Tobias Vogel, et Florian Kutzner. «Ambivalence in stakeholders' views on connected and autonomous vehicles.» 2020.

Kaye, Sherrie-Anne, Klaire Somoray, David Rodwell, et Ioni Lewis. «Users' acceptance of private automated vehicles: A systematic review and meta-analysis.» *Elsevier - Journal of Safety Research*, 2021.

Kruszewski, Mikolaj. «Building Acceptance and Trust in Autonomous Mobility - New driver training challenges and needs for semi-automated vehicles.» 2021.

Lafont, Sylviane, et al. «SURCA WP 8 : Acceptabilité des véhicules automatisés par les conducteurs âgés.» 2021.

Lafont, Sylviane, et Maud Ranchet. «Analyse des attentes et acceptabilité des véhicules automatisés par les conducteurs âgés.» 2021.

Ministère de l'Intérieur, Délégation à la Sécurité Routière. «Premières propositions issues des réflexions du groupe de travail sur la conduite et la formation.» 2021.

Mouratidis, Kostas, et Victoria Cobeña Serrano. «Autonomous buses: Intentions to use, passenger experiences, and suggestions for improvment.» *Elsevier - Transportation Research Part F*, 2021.

Noble, Alex, et al. «Driver Training Research and Guidelines for Automated Vehicle Technology.» 2019.

Noble, Alexandria M. , Sheila Garness Klauer, Sahar Ghanipoor Machiani, et Michael P. Manser. «Importance of Training for Automated, Connected, and Intelligent Vehicles Systems.» 2020.

Payre, William, Julien Cestac, Nguyen-Thong Dang, Fabrice Vienne, et Patricia Delhomme. «Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car.» *Elsevier - Transportation Research Part F*, 2017.

Pigeon, Caroline, Laurence Paire-Ficout, et Aline Alauzet. «Factors of acceptability, acceptance and usage for non-rail autonomous public transport vehicles: A systematic literature review.» *Elsevier - Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*, 2021.

Schneider, Tobias, Sabiha Ghellal, Joana Hois, Dimitra Theofanou-Fülbier, Alischa Rosenstein, et Ansgar Gerlicher. «ExplAIn Yourself! Transparency for Positive UX in Autonomous Driving.» 2021.

Sportillo, Daniele. «Get ready for automated driving with Mixed Reality.» 2019.

Susilawati, et Teik Seng Lim. «A study of the scheduling effect on shared autonomous vehicles adoption.» *Elsevier - Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2021.

van den Beukel, Arie P., Cornelie J. G. van Driel, Anika Boelhouwer, Nina Veders, et Tobias Heffelaar. «f. Assessment of Driving Proficiency When Drivers Utilize Assistance Systems—The Case of Adaptive Cruise Control.» *Safety*, 2021.

Van Egmond, Patrick, et al. «PAsCAL - D8.1 – Common issues, approaches and lessons learned across all modes for Industry and Public Authorities.» 2021.

Walker, Francesco, Anika Boelhouwer, Tom Alkim, Willem B. Verwey, et Marieke H. Martens. «Changes in Trust after Driving Level 2 Automated Cars.» *Hindawi*, 2018.

Wang, Kaili, Mohammad Faizus Salehin, et Khandker Nurul Habib. «A discrete choice experiment on consumer's willingness-to-pay for vehicle automation in the Greater Toronto Area.» *Elsevier - Transportation Research Part A*, 2021.

Wang, Zhong, Muhammad Safdar, Shaopeng Zhong, Jianrong Liu, et Feng Xiao. «Public Preferences of Shared Autonomous Vehicles in Developing Countries: A Cross-National Study of Pakistan and China.» *Hindawi*, 2021.

Weber, Hendrik, et al. «L3 Pilot - Deliverable D7.3. Pilot Evaluation results.» 2021.

Weigl, Klemens, Clemens Schartmüller, Andreas Riener, et Marco Steinhauser. «Development of the Questionnaire on the Acceptance of Automated Driving (QAAD): Data-driven models for Level 3 and Level 5 automated driving.» *Elsevier - Transportation Reseach Part F Psychology and Behavior*, 2021.