



**HAL**  
open science

## **Bénéfices et limites de l'utilisation d'un véhicule automatisé**

Maud Ranchet, Laurence Paire-Ficout, Clara Gasne, Stéphanie Bordel, Sylviane Lafont

### ► **To cite this version:**

Maud Ranchet, Laurence Paire-Ficout, Clara Gasne, Stéphanie Bordel, Sylviane Lafont. Bénéfices et limites de l'utilisation d'un véhicule automatisé. L8.2, Université Gustave Eiffel; Cerema - Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement. 2022. <hal-05474538>

**HAL Id: hal-05474538**

**<https://univ-eiffel.hal.science/hal-05474538v1>**

Submitted on 23 Jan 2026

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License



## **WP 8.2 Livrable final**

### **Bénéfices et limites de l'utilisation d'un véhicule automatisé**

	<i>WP8. Analyse des besoins des usagers âgés et acceptabilité des véhicules automatisés</i>
<b>Responsable du WP, affiliation</b>	<i>Sylviane LAFONT, UMRESTTE, Université Gustave Eiffel</i>
<b>Livrable n°</b>	
<b>Version</b>	<i>V1</i>
<b>Auteur responsable du livrable</b>	<i>Maud RANCHET, LESCOT, Université Gustave Eiffel</i>
<b>Auteurs, affiliations</b>	<i>Laurence PAIRE-FICOUT, LESCOT, Université Gustave Eiffel</i> <i>Stéphanie BORDEL, CEREMA</i> <i>Clara GASNE, LESCOT, Université Gustave Eiffel</i> <i>Sylviane LAFONT, UMRESTTE, Université Gustave Eiffel</i>
<b>Relecteurs, affiliations</b>	<i>Manuelle SALATHE, Céline SAUTECOEUR, Joël VALMAIN</i>
<b>Statut du livrable</b>	<i>Final</i>

r

---

## Veillez citer ce document de cette façon :

M Ranchet, L Paire-Ficout, C Gasne , S Bordel, S Lafont. (2022), Livrable 8.2 « Bénéfices et limites de l'utilisation d'un véhicule automatisé pour la population de conducteurs âgés », Projet SURCA, Convention Université Gustave Eiffel, FSR, DSR, 52 pages.

---

## Historique des versions

Version	Date	Auteurs	Type des changements
1	15 Avril 2022	Maud Ranchet Laurence Paire-Ficout	
2	06/05/22	Relecture des co-auteurs	SL. Corrections mineures
3		Relecture par les relecteurs externes au WP8	

---

## Remerciements

Le Projet SURCA est financé par la dévolution de la Fondation Sécurité Routière, la Délégation à la Sécurité Routière et pour moitié par les partenaires du projet.

## Table des matières

### Table des matières

Résumé du livrable.....	8
1. Introduction .....	9
1.1 Automatisation de la conduite.....	10
1.2 L'effet du vieillissement sur les capacités de reprise en main.....	12
1.3 Acceptabilité et acceptation de l'automatisation par les personnes âgées .....	16
2. Objectifs .....	19
3. Méthode .....	19
3.2.1. Participants .....	19
3.2.2. Matériel.....	20
4. Procédure.....	25
5. Analyses statistiques.....	25
6. Résultats.....	26
6.1 Participants .....	26
6.2 Performances aux tests neuropsychologiques .....	27
6.3 Equipement ADAS chez les personnes âgées .....	27
6.4 Acceptabilité avant / après .....	29
6.6 Evolution du sentiment de confiance dans le système automatisé avant et après l'expérimentation.....	32
6.7 Scores à l'effort mental de la NASA-TLX .....	35
6.8 Performances de reprise en main chez les personnes âgées .....	35
7. Discussion.....	42
7.1 Une acceptabilité modulée par un besoin de confiance pour les conducteurs âgés .....	42
7.2 Les performances de reprise en main par les conducteurs âgés.....	44
7.3 Limites de l'étude.....	46
7.4 Perspectives de recherche .....	46

7.5 Conclusions .....	47
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>49</b>

## Table des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques et caractéristiques de conduite des participants.....	27
Tableau 2 : Equipement et utilisation d'ADAS en fonction du groupe d'âge .....	27
Tableau 3 : Perceptions, attentes et craintes vis-à-vis du véhicule automatisé.....	28
Tableau 4 : Utilité perçue du véhicule automatisé et intention d'utilisation selon les groupes jeunes et âgés .....	29
Tableau 5 : Ressentis pour lesquels il existe une différence entre les jeunes et les âgés avant et après l'exposition à la conduite automatisée.....	32
Tableau 6 : Analyses de variance à mesures répétées pour les performances de conduite pendant la reprise en main .....	35
Tableau 7 : Analyses de variance à mesures répétées pour les performances de conduite après la reprise en main .....	40

## Table des figures

Figure 1. Description en anglais des 6 niveaux d'automatisation selon la SAE. ....	11
Figure 2. Type de simulateur utilisé.....	22
Figure 3. Déroulé du scénario de conduite. Chaque nombre représente la durée de la phase de conduite en secondes (90 sec. ou 120 sec.). ....	24
Figure 4 : Evolution de la perception du véhicule automatisé avant et après l'expérimentation chez les jeunes conducteurs.....	30
Figure 5 : Evolution de la perception du véhicule automatisé avant et après l'expérimentation chez les conducteurs âgés .....	31
Figure 6 : Evolution du niveau de confiance entre avant et après l'expérimentation dans le groupe des jeunes.....	33
Figure 7 : Evolution du niveau de confiance entre avant et après l'expérimentation dans le groupe des jeunes.....	34
Figure 8 : Scores d'effort mental pour les deux groupes d'âge lors la tâche d'empan, la tâche de conduite et la tâche de conduite suite à la tâche d'empan pendant la phase autonome .....	35
Figure 9. Temps de reprise en main des conducteurs jeunes et âgés en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome .....	37
Figure 10. Temps minimum à la collision dans les deux groupes d'âge en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome .....	38
Figure 11. Variabilité de la vitesse dans les deux groupes d'âge en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome .....	39
Figure 12. Vitesse dans les deux groupes d'âge en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome.....	41

## Résumé du livrable

Dans le projet SURCA, le Work-Package 8 s'est intéressé à l'acceptabilité de la conduite automatisée par les usagers âgés avec deux approches complémentaires, l'une épidémiologique et l'autre expérimentale. Il s'est également intéressé aux capacités de reprise en main d'un véhicule dans différentes conditions (avec ou sans engagement dans une tâche) dans un groupe de conducteurs âgés par rapport à un groupe de conducteurs jeunes. Le présent rapport concerne le volet expérimental (L8.2).

Cette sous-tâche poursuit deux objectifs correspondant à deux expérimentations différentes. Il s'agit de mieux comprendre l'acceptabilité et l'acceptation du véhicule à délégation de conduite de niveau 3 (désigné dans ce rapport par « véhicule automatisé ») par des conducteurs âgés et d'étudier leur capacité de reprise en main du véhicule, notamment lorsque celle-ci fait suite à une phase de conduite autonome durant laquelle le participant est engagé dans une tâche non liée à la conduite.

Vingt-neuf personnes jeunes d'âge moyen ( $25 \pm 3$  ans) et 21 personnes âgées d'âge moyen ( $70 \pm 4$  ans) ont été incluses dans l'étude. Tous les participants ont réalisé des tests neuropsychologiques pour évaluer leur niveau cognitif et complété des questionnaires concernant leurs habitudes de conduite. Ils ont ensuite réalisé deux mises en situation sur simulateur de conduite. Dans la première, les participants devaient conduire un véhicule autonome. Des questionnaires concernant l'acceptabilité du véhicule automatisé leur était proposé avant et après la conduite sur simulateur. La comparaison des deux réponses avant et après permet d'évaluer un éventuel changement sur l'acceptation du véhicule automatisé. Dans la deuxième mise en situation, les participants devaient reprendre en main le véhicule suite à des événements inattendus sur la route (ex. : travaux ou obstacle sur la route). Pendant la phase autonome, et avant la reprise en main, le participant pouvait être amené à réaliser une tâche non liée à la conduite (tâche d'empan dans la présente étude) pour évaluer l'impact d'une activité avec une charge cognitive forte sur la performance de reprise en main.

Les résultats ont montré que le critère principal d'acceptabilité et d'acceptation pour les conducteurs âgés est la confiance. Cela montre qu'il est vraiment important de permettre aux futurs usagers de ces systèmes de se familiariser en amont avant toute utilisation.

Les résultats de la mise en situation sur simulateur de conduite pour évaluer la performance de reprise en main montrent que les personnes âgées ont des temps de reprise en main plus longs que les jeunes. De plus, l'engagement dans la tâche d'empan pendant la phase autonome modifie le comportement de conduite pendant et après la reprise en main des conducteurs âgés. Ces études soulignent la nécessité de réaliser d'autres études sur les conducteurs âgés et le véhicule automatisé. Des pistes de recherches à mener dans le futur sont discutées.

## 1. Introduction

L'automatisation des véhicules est un domaine en expansion constante dans l'ensemble des pays industrialisés. Cette avancée technologique est devenue l'objectif de nombreux concepteurs et le sujet de nombreuses recherches. Même si des véhicules comprenant des systèmes d'aide à la conduite (e.g., freinage d'urgence, maintien dans la voie de circulation) sont d'ores et déjà commercialisés depuis quelques années, le véhicule complètement autonome est toujours en phase d'expérimentation. L'industrie automobile connaît donc une course internationale à l'automatisation où l'ensemble des pays industrialisés concentre recherches et conceptions pour promouvoir une commercialisation d'un véhicule totalement automatisé. La France n'échappe pas à cette course avec le projet de la Nouvelle France Industrielle (NFI) essentiellement orienté vers l'automatisation des véhicules. Cette prouesse technologique tant investiguée représente plusieurs enjeux importants comme une amélioration de la fluidité de la circulation ainsi qu'une augmentation de la sécurité en palliant les erreurs que peuvent commettre les conducteurs (Pauzie, 2016). Cependant, l'intégration de ces véhicules nécessite des adaptations qui ne sont pas négligeables : adaptations de la voirie, réglementations de sécurité routière ainsi que formation des conducteurs. En effet, la conduite d'un véhicule automatisé va totalement modifier les habitudes de conduite. L'automatisation des véhicules comprend plusieurs niveaux allant du régulateur de vitesse à la prise en charge complète de la conduite par le système dans n'importe quelle situation (e.g., Society of Automotive Engineers international). Les véhicules de niveau trois sont capables de rouler de façon autonome dans certaines situations, mais le conducteur doit reprendre en main la conduite en cas d'événement inattendu non maîtrisé par le système, ou lorsque le véhicule sort de sa zone d'automatisation. Cette situation nécessite que le conducteur soit capable d'orienter rapidement son attention sur la situation de conduite, surtout si celle-ci est engagée dans une activité secondaire. Cette situation particulière nécessite donc de bonnes capacités cognitives et attentionnelles. Or, le vieillissement peut altérer un certain nombre de fonctions impliquées dans la conduite automobile. Il est donc important de mieux connaître l'impact de l'altération de ces fonctions cognitives sur la capacité de reprise en main. Il est tout aussi important de préciser dans quelle mesure les conducteurs âgés acceptent la technologie automatisée pour optimiser le développement, les essais et l'exploitation future des systèmes, et finalement son adoption par cette frange de la population.

L'objectif de ce projet est donc 1) de mieux comprendre l'acceptabilité et l'acceptation du véhicule automatisé par les conducteurs âgés et 2) d'étudier, à partir d'une mise en situation sur un simulateur de conduite, la capacité de reprise en main d'un véhicule suite à une phase de conduite autonome durant laquelle le participant est engagé dans une tâche non liée à la conduite.

## 1.1 Automatisation de la conduite

### 1.1.1 Conduite et personnes âgées

Les avancées médicales et technologiques engendrent des changements démographiques à l'échelle mondiale. En effet, d'après Brutel (2002), le nombre de personnes ayant 60 ans et plus, augmenterait de 8,5 millions en 2035 comparativement à l'année 2000. Notre société doit donc s'adapter à cette population vieillissante qui maintient une activité de conduite importante (*Résultats détaillés de l'enquête mobilité des personnes, 2019*).

La conduite est une activité coûteuse d'un point de vue cognitif et attentionnel. Elle nécessite des capacités d'intégration d'éléments multisensoriels (visuels et auditifs), un traitement de ces informations ainsi que des capacités de flexibilité mentale et d'adaptation selon les différentes situations rencontrées. Lors du vieillissement, plusieurs habilités cognitives sont touchées pouvant avoir des conséquences directes sur la conduite. Evans (2000) expose de façon qualitative les types de situations pouvant être problématiques pour les conducteurs âgés. Le placement dans les intersections ou les changements de file est particulièrement difficile, la perception des véhicules changeant de file, des clignotants ou des phares de voitures est parfois difficile. Parker, McDonald, Rabbitt et Sutcliffe (2000) expliquent que le fait d'indiquer un changement de voie et la concentration requise pour l'effectuer entraînent un coût cognitif plus important pour les conducteurs âgés dont les capacités attentionnelles et cognitives sont altérées par le vieillissement. Néanmoins, les avancées technologiques permettent de contrebalancer ces difficultés en proposant des systèmes d'aide à la conduite (en anglais *ADAS*) comme les radars de recul, les aides pour se garer, le contrôle de la distance entre les véhicules ou encore l'automatisation du freinage d'urgence. Aujourd'hui, les véhicules sont de plus en plus équipés de ces systèmes.

### 1.1.2 L'automatisation des véhicules

Il existe plusieurs niveaux d'automatisation allant d'un véhicule sans aucune assistance à un véhicule avec une autonomie complète. La *Society of Automotive Engineers (SAE) International* a classé ces différents niveaux en six catégories afin de distinguer toutes les actions réalisables ou non par le système autonome (cf. figure 1).

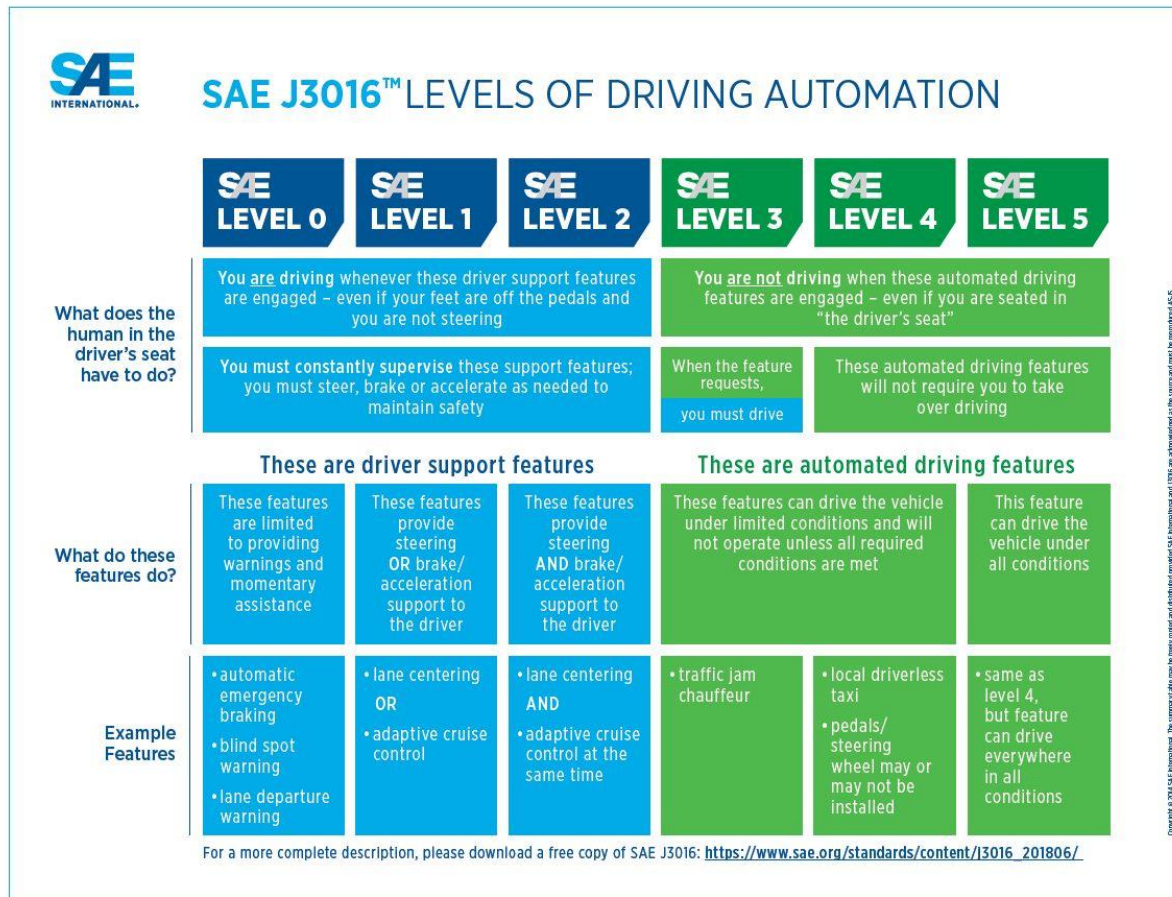


Figure 1. Description en anglais des 6 niveaux d'automatisation selon la SAE.

Le niveau zéro concerne tous les véhicules ne disposant d'aucune automatisation. L'ensemble de la conduite est réalisé par le conducteur. Le niveau un comprend deux assistances : le contrôle longitudinal et latéral du véhicule. Le conducteur a donc accès à un régulateur de vitesse et un radar permettant de détecter le franchissement des lignes blanches. Ces deux assistances ne peuvent pas être activées en même temps. Ce qui différencie le niveau un du niveau deux est que le conducteur peut déléguer au véhicule le contrôle longitudinal et latéral. Le système maintient la direction du volant et la vitesse. Dans ces trois premiers niveaux, le conducteur doit maintenir une activité de conduite (maintenir l'orientation du volant, accélérer et freiner) même si les assistances sont activées. Contrairement aux niveaux trois, quatre et cinq où le conducteur ne doit pas continuer de conduire quand les assistances le font. De plus, le système se charge de la surveillance de l'environnement de conduite.

Le troisième niveau correspond à une automatisation dans certaines conditions. Le véhicule peut par exemple doubler sur autoroute, freiner pour garder une distance de sécurité avec les autres véhicules mais le conducteur doit être prêt à reprendre la conduite en main lorsque le système le demande. Pour le niveau 4, le système autonome ne peut contrôler le véhicule que dans certaines conditions :

une région géographique préalablement déterminée, l'absence de perturbations météorologiques comme des vents violents ou du brouillard. C'est seulement lorsque que le véhicule arrive dans une zone où les conditions prédéfinies ne sont plus respectées que le conducteur doit reprendre le véhicule en main. Enfin, le cinquième niveau correspond à une automatisation complète. Le véhicule peut rouler de façon complètement autonome (sans aide humaine) dans n'importe quel type de situation.

La présente étude s'intéresse plus particulièrement au troisième niveau d'automatisation.

L'automatisation des véhicules a pour but de déléguer des fonctions de conduite au système et par là même d'alléger la charge cognitive du conducteur. Bainbridge (1983) explique que l'automatisation des véhicules, par le biais de systèmes automatisés, va permettre de substituer des activités cognitives réalisées par l'homme lors de la conduite comme le contrôle manuel, la planification et la résolution de problèmes.

Cependant, cet auteur ajoute que le conducteur devra réaliser des tâches supplémentaires que le système ne peut pas réaliser comme la surveillance du bon fonctionnement du système et la reprise en main de la conduite si le système ne peut pas le réaliser (e.g., niveau 3 de la SAE International). Freyssenet (1992) ajoute que l'automatisation des véhicules permet la suppression d'activités cognitives qu'il juge "pénibles" pour le conducteur mais nécessite l'ajout de tâches plus difficiles. Cette avancée technologique est paradoxale puisqu'elle nécessite l'acquisition de nouvelles habilités. La conduite d'un véhicule automatisé nécessite des capacités de reprise en main du véhicule à tout moment (dans le cas où le système n'est pas capable de gérer une situation en l'absence de lignes de marquage ou d'événement inattendu sur la route par exemple). Le développement de l'automatisation des véhicules représente donc un enjeu majeur pour les conducteurs âgés en termes de mobilité et sécurité routière.

La question se pose donc de savoir si les personnes âgées sont prêtes à utiliser ces systèmes et si elles perçoivent un gain en termes de sécurité, de confort, de fiabilité dans leur utilisation future. Il est aussi important de se demander si la capacité de reprise en main d'un véhicule automatisé est aussi efficiente chez les conducteurs âgés que chez les conducteurs plus jeunes compte tenu des légers déclin qui surviennent avec l'âge dans un vieillissement normal.

## 1.2 L'effet du vieillissement sur les capacités de reprise en main

Être au volant d'un véhicule automatisé peut permettre au conducteur d'allouer ses ressources cognitives et attentionnelles à d'autres activités que l'activité de conduite. Cependant, le conducteur peut être amené à reprendre en main la conduite dans certaines situations lorsque le système n'est

plus en mesure de gérer la conduite. Dans le cadre du projet SURCA, une revue de littérature a été réalisée pour mieux comprendre les capacités de reprise en main des conducteurs âgés et les facteurs externes qui pourraient influencer la performance de reprise en main (Gasne et al., 2022). Cette revue synthétise les résultats de 14 articles qui ont étudié les effets de l'âge sur la performance de reprise en main sur simulateur de conduite. Les résultats montrent que plusieurs facteurs, tels qu'une tâche non liée à la conduite, la vitesse de conduite pendant la phase autonome, le type et la durée de notification pour reprendre en main le véhicule, la durée de la phase automatisée, et la répartition des phases manuelles / automatisées peuvent influencer la performance de reprise en main chez les personnes âgées. La majorité des articles montre que les personnes âgées sont plus lentes pour reprendre en main le véhicule. En revanche, les résultats sur la qualité de reprise en main (*i.e* la vitesse de conduite, position sur la voie, variabilité du volant après la reprise en main...) diffèrent selon les études. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences, comme les différences de méthodologie d'une étude à l'autre, de la nature de la tâche non liée à la conduite et aussi en raison d'une plus grande hétérogénéité dans la population des conducteurs âgés.

Les effets des tâches non liées à la conduite (« non driving related task » NDRT en anglais) sur la performance de reprise en main des conducteurs âgés seront tout particulièrement discutées ci-dessous.

#### *1.2.1 Effet des tâches non liées à la conduite sur la performance de reprise en main*

Plusieurs recherches ont étudié la performance de reprise en main lorsque les conducteurs âgés étaient engagés dans une tâche non liée à la conduite. Cette situation expérimentale est particulièrement intéressante puisque lors de la conduite d'un véhicule en situation réelle, le conducteur pourrait être amené à se retrouver dans de telles situations, c'est-à-dire réaliser une activité toute autre que la conduite comme lire, discuter, jouer ...).

Clark & Feng (2017) ont étudié le niveau d'engagement volontaire dans les tâches non liées à la conduite en fonction du groupe d'âge. Dans cette étude, ce sont les conducteurs qui choisissent de s'engager naturellement dans une des tâches non liées à la conduite. Les auteurs ont examiné quelles répercussions a une tâche non liée à la conduite sur la performance de reprise en main. Ils ont également étudié l'effet d'un intervalle de notification de reprise en main court de 4,5 sec. ou plus long de 7,5 sec. chez des conducteurs jeunes et plus âgés engagés dans une tâche avec un niveau d'engagement élevé ou faible. Un objectif secondaire était d'étudier les effets de l'intervalle de notification, de l'âge et de l'engagement dans les tâches non liées à la conduite sur la performance de reprise en main. Dans leur étude, trois sessions de conduite ont été présentées dans un ordre aléatoire. Dans chaque session, les participants devaient conduire en alternant entre des zones

automatisées et manuelles. La zone manuelle consistait à conduire dans une zone avec des travaux. Les résultats ont montré que quand le participant a lui-même choisi volontairement la tâche non liée à la conduite, cela n'a pas altéré la performance de reprise en main. Cependant, le comportement des conducteurs âgés avant, pendant et après la reprise en main différait de celui des jeunes conducteurs. Les deux groupes s'étaient livrés à des tâches non liées à la conduite distinctes : les conducteurs âgés avaient tendance à converser alors que les jeunes conducteurs choisissaient d'utiliser un appareil électronique. Les conducteurs âgés répondaient rapidement aux demandes de reprise en main lorsque l'intervalle de notification était long, ce qui n'était pas le cas des conducteurs jeunes. Ces résultats suggèrent que le bénéfice d'un intervalle de notification plus long était plus important pour les conducteurs âgés que pour les jeunes conducteurs. Lorsque l'intervalle de notification était court, les conducteurs âgés qui étaient fortement engagés dans la tâche non liée à la conduite (groupe à forte activité) avaient tendance à freiner plus fort pendant la reprise en main que ceux dont l'engagement était faible. Selon les auteurs, il est possible que le fait de freiner plus fort soit lié à un certain degré d'altération de la performance lors de reprise en main. Après la reprise en main, les conducteurs âgés conduisaient en général plus lentement et s'écartaient moins de la ligne médiane de la route. Les auteurs ont effectué une nouvelle analyse des données recueillies dans leur étude précédente. Ils ont classé les tâches non liées à la conduite selon trois dimensions cognitives (visuelle-manuelle, auditive-manuelle ou auditive-vocale) (Clark et al., 2017). Ils ont regardé si la performance de reprise en main pouvait être affectée par l'âge, la durée totale et le nombre de fois où la personne s'engage dans la tâche non liée à la conduite, la durée et les dimensions cognitives de la dernière activité. Les résultats montrent une diminution de la vitesse moyenne pendant la reprise en main avec le vieillissement. De plus, le temps de réponse à une notification était plus rapide chez les conducteurs jeunes lorsqu'ils étaient engagés dans un plus grand nombre d'activités pendant la conduite automatisée. En revanche, le temps de réponse à une notification chez les conducteurs âgés n'était pas plus rapide lorsque le nombre d'activités était plus élevé.

Miller et al. (2016) ont étudié les performances de reprise en main d'un véhicule automatisé chez des conducteurs jeunes (15-18 ans), adultes (17-69 ans) et adultes âgés (70-81 ans) lorsqu'ils réalisaient une tâche non liée à la conduite. Les auteurs ont comparé les effets de trois types de tâches distinctes : 1) une tâche de lecture sur une tablette d'un livre préalablement choisi par le participant parmi trois propositions ; 2) une tâche de visionnage d'une partie d'un film sur une tablette, également choisie par le participant parmi trois propositions ; et 3) une tâche de supervision de la conduite automatisée où le participant devait regarder la route. Les résultats ont montré des différences de performances de reprise en main entre les groupes d'âge, chacun formés de 12 participants. Cependant, aucune différence significative entre les groupes d'âge n'a été montrée entre les

performances de reprise en main de la conduite en fonction du type de tâche non liée à la conduite réalisée lors de la phase de conduite automatisée. Les personnes âgées ralentissaient de façon plus importante lors de la reprise en main du véhicule que les jeunes conducteurs et les conducteurs adultes. De plus, leur vitesse moyenne était plus faible que pour les deux autres groupes. Lors de la reprise en main, les conducteurs âgés adoptaient des stratégies différentes de celle des jeunes : ils évitaient les piétons qui traversaient sans freiner puisqu'ils roulaient moins vite que les jeunes conducteurs. Les piétons avaient le temps d'arriver de l'autre côté de la route avant que le véhicule arrive à leur hauteur. À l'inverse, les jeunes conducteurs et les adultes devaient freiner pour laisser les piétons traverser. Les auteurs indiquent que 30% des données des participants du groupe de personnes âgées n'ont pas pu être prises en considération car elles ne suivaient pas convenablement les consignes et donc ne respectaient pas le protocole. La portée des résultats de cette étude reste donc limitée.

Wu et al. (2020) ont étudié l'effet des tâches non liées à la conduite sur la somnolence et la performance de reprise en main des conducteurs dans trois groupes d'âge (12 personnes jeunes, 12 adultes d'âge moyen, 12 adultes âgés). Pendant la conduite automatisée, il y avait trois conditions : sans présence de tâche autre que la conduite, engagement unique dans une tâche non liée à la conduite (regarder un clip vidéo) et engagement multiple dans des tâches autres que la conduite (regarder consécutivement un clip vidéo, jouer à un jeu, puis regarder à nouveau un clip vidéo). Après 30 minutes de conduite automatisée, une camionnette à l'arrêt est apparue devant le véhicule du conducteur et une reprise en main a été demandée par le système. Pour évaluer la somnolence des conducteurs, les participants ont rempli l'échelle de sommeil de Karolinska avant et après chaque expérience et la durée du clignement des yeux a été mesurée à l'aide d'un électrooculogramme (EOG) pendant la conduite. Les résultats ont révélé que les engagements uniques et multiples dans les tâches autres que la conduite évitaient la somnolence pendant la conduite automatisée pour les jeunes conducteurs. Seuls les engagements multiples dans les tâches non liées à la conduite ont évité la somnolence chez les conducteurs d'âge moyen. En revanche, ni les engagements uniques, ni les engagements multiples dans les tâches non liées à la conduite n'évitaient l'apparition de la somnolence chez les conducteurs âgés. De plus, la reprise en main des conducteurs âgés était significativement altérée lorsqu'ils étaient engagés dans des tâches multiples : ils réagissaient plus lentement et la stabilité de la direction était moins bonne.

D'autres facteurs peuvent moduler les performances de reprise en main, notamment l'intervalle de temps entre la notification de reprise et le moment où le conducteur doit reprendre en main le système (Clark & Feng, 2017), la densité de circulation (Körber et al., 2016).

Pour conclure, l'âge et le type de tâches non liées à la conduite peuvent influencer les performances de reprise en main chez les conducteurs âgés. Le niveau d'engagement dans la tâche peut également influencer les performances de reprise en main. A notre connaissance, aucune étude n'a étudié l'effet d'un niveau d'engagement fort dans une tâche non liée à la conduite sur les performances de reprise en main des conducteurs âgés.

### 1.3 Acceptabilité et acceptation de l'automatisation par les personnes âgées

#### 1.3.1 *Notion d'acceptabilité, acceptation et appropriation*

L'acceptabilité est un processus qui s'établit sur un continuum temporel selon trois stades : l'acceptabilité a priori, l'acceptation et l'appropriation. Avant même que les usagers aient pu manipuler un dispositif, en amont de l'usage, l'étude de l'acceptabilité a priori cherche à prédire l'usage potentiel d'une technologie à partir des représentations que les individus ont développé vis-à-vis du dispositif. Le stade de l'acceptation concerne la perception qu'ont les usagers, une fois le système développé, depuis les premiers essais jusqu'à ce que l'individu acquiert une expérience réelle avec la technologie (Venkatesh et al., 2003). Il s'agit de comprendre, dans un cadre souvent expérimental de tests utilisateurs, ce qui va déterminer l'acceptation de la technologie. Enfin, une fois que le système est implanté, il convient de regarder son appropriation réelle et d'observer comment les individus l'utilisent dans une activité ordinaire.

Cette étude concerne à la fois l'acceptabilité a priori (des questions invitent les participants à imaginer le comportement et les attributs d'un véhicule qui n'existe pas) et l'acceptation (une mise en situation de conduite automatisée sur un simulateur de conduite est proposée à un groupe de participants jeunes et un autre groupe de participants âgés).

#### 1.3.2 *Conditions qui favorisent l'acceptabilité ou l'acceptation*

Plusieurs travaux ont mis en évidence les conditions qui pouvaient faciliter l'acceptabilité ou l'acceptation des systèmes automatisés d'aide à la conduite pour les conducteurs. Lansdown et Fowkes (1998) suggèrent que le design d'informations doit être simple et clair pour permettre à l'automobiliste de choisir par lui-même quand il doit interagir ou non avec les équipements. Les auteurs précisent que l'automatisation devrait être collaborative et non pas intrusive, c'est-à-dire qu'elle devrait laisser à l'automobiliste la liberté de choisir quelles fonctions il souhaite déléguer au système automatisé, et quelles fonctions il souhaite prendre en charge manuellement. Harris, Hancock, Arthur, & Caird (1995) ont montré que la performance est meilleure, en termes de précision de la supervision, de baisse de la charge de travail et de la fatigue, quand les participants peuvent choisir d'activer l'automatisation, par rapport à des situations où ce choix n'est pas offert. L'idée d'une automatisation à la carte, dans laquelle les fonctions automatisées seraient choisies par l'individu,

serait donc à privilégier. La nature du déplacement peut également faire varier le niveau d'acceptabilité du système automatisé : les individus ont plus tendance à déléguer la conduite lorsqu'un voyage est considéré comme monotone ou déplaisant (Fancher et al., 1998). Plus précisément, la congestion du trafic et les trajets sur autoroute sont les situations dans lesquelles la conduite partiellement automatisée est la plus attendue et appréciée (Saad & Villame, 1999). Le facteur genre jouerait également un rôle : il apparaît que les hommes seraient plus enclins que les femmes à utiliser cette technologie (Venkatesh et al., 2000). L'acceptation et les attentes des conducteurs âgés à l'égard des voitures automatisées ont également été étudiées : l'automatisation complète a été évaluée comme une solution intéressante pour assurer l'auto-mobilité des personnes âgées dans leur entourage, mais aussi pour elles-mêmes à l'avenir, en cas d'altération de leurs propres capacités cognitives ou physiques (Bellet et al., 2018).

### *1.3.3 Notion de confiance dans le processus d'acceptabilité*

L'acceptabilité d'un système inclut la dimension de fiabilité (Nielsen, 1994) qui est liée à la confiance. On peut se poser la question du degré de confiance qui va être attribué à cette technologie qui prend en charge la conduite. Les différences interindividuelles pourraient avoir un impact sur la confiance accordée au système (selon l'âge, que l'on soit technophile, expérimenté en conduite, ou familier à l'utilisation d'aides à la conduite). Pour Muir (1994), la confiance envers l'automatisation d'un système varie en fonction de la qualité de l'automatisation, il décrit 4 niveaux :

- Confiance appropriée : l'opérateur fait confiance à l'automatisation et l'utilise lorsqu'elle est de bonne qualité ;
- Méfiance appropriée : l'opérateur ne se fie pas à l'automatisation et la rejette de par sa piètre qualité ;
- Méfiance erronée : l'opérateur ne fait pas confiance et rejette un automate pourtant de bonne qualité ;
- Confiance erronée : l'opérateur fait confiance et utilise une automatisation pourtant de piètre qualité.

Les niveaux *confiance appropriée* et *méfiance appropriée* sont ceux dans lesquels la confiance envers le système est bien adaptée. Il existe un équilibre entre les capacités de l'automatisation et la confiance d'un individu dans cette automatisation. Une mauvaise estimation correspond à deux phénomènes que sont la surconfiance (confiance erronée) et la sous-confiance (méfiance erronée) (Lee et al., 2003). Quand un automobiliste fait grandement confiance à un dispositif, la

supervision et en parallèle l'attention diminuent, réduisant ainsi le niveau d'alerte. Les conducteurs comptent entièrement sur le système automatisé et ne s'attendent pas à devoir reprendre le contrôle rapidement, dans une situation d'urgence, ce qui allonge les temps de reprise en main.

La confiance dans un système automatisé pourrait être un prédicteur quantitatif fiable de l'adaptation du comportement : plus la confiance est élevée, moins les personnes vont interagir avec le système et vont vouloir reprendre le contrôle. La confiance qu'un individu accorde à un système d'aide dépend à la fois de la performance et de la fiabilité perçues (Maltz et al., 2004; Moray et al., 2000). La fiabilité d'un système peut être estimée en l'utilisant ou en se familiarisant avec ses principes de fonctionnement. En effet, plus un utilisateur comprend le fonctionnement d'un système automatisé, plus sa confiance à son égard augmente (Dzindolet et al., 2003). Si l'utilisation prolongée augmente la confiance à l'égard du système, cette confiance amène à une diminution de la supervision du dispositif automatisé (Stanton et al., 1997).

La variable confiance est donc essentielle dans le processus d'acceptation, c'est pourquoi nous lui avons accordé une place importante dans notre travail, en demandant aux participants d'évaluer la confiance qu'ils accordent dans le dispositif. Il est important de garder en tête que les personnes mettent plus de temps à construire une relation de confiance avec un système qu'à la déconstruire (Riley, 1989), d'où l'intérêt de favoriser des expériences positives avec un système.

#### *1.3.4 Conduite automatisée et personnes âgées*

Les enquêtes sur les attitudes, la volonté et les préoccupations des personnes âgées par rapport aux véhicules, complètement ou partiellement autonomes n'en sont qu'à leurs débuts. Les résultats suggèrent que les personnes âgées se montrent assez ouvertes vis-à-vis d'un tel véhicule en tant que passager, mais moins enthousiastes lorsqu'il est vu du point de vue d'un piéton âgé (Hassan et al., 2019). Les adultes âgés, sans doute comme beaucoup d'autres, considèrent que le saut vers le véhicule complètement autonome est beaucoup plus spectaculaire et peut-être plus inquiétant que celui vers les véhicules partiellement autonomes. Environ deux tiers des participants interviewés dans l'étude de Hassan et al. (2019) ont pointé leur préoccupation en termes de responsabilité, en cas de défaillance de la technologie. En outre, plus de la moitié des personnes interrogées pensent que le Service Après Vente n'a pas été suffisamment testé et plus des deux tiers des participants pensent que les véhicules complètement ou partiellement automatisés ne fonctionneront pas en toute sécurité dans toutes les conditions routières et météorologiques.

Les personnes âgées qui ne sont pas très à l'aise pour conduire une voiture (celles qui préfèrent être conduite en tant que passagers plutôt que conducteurs ou qui ont besoin d'aide pour conduire) se disent plus disposées à utiliser des véhicules semi-autonomes et entièrement autonomes que celles qui sont plus à l'aise au volant.

Enfin, Molnar et al. (2018) ont mis en évidence que la composante "confiance" dans le système était prépondérante pour les conducteurs âgés. Les conducteurs qui sont les plus favorables et confiants envers le véhicule automatisé sont aussi ceux qui déclarent être le plus à l'aise en tant que passagers, avec un conducteur qui les pilote.

## 2. Objectifs

Cette sous-tâche poursuit deux objectifs correspondant à deux expérimentations différentes. Il s'agit dans un premier temps de mieux comprendre l'acceptabilité et l'acceptation du véhicule automatisé par les conducteurs âgés. Il s'agira entre autre de déterminer dans quelle mesure une expérience de conduite sur un simulateur de conduite favorise l'acceptabilité du véhicule automatisé pour des conducteurs âgés. Le second objectif consistera à étudier les effets de l'âge sur la capacité de reprise en main du véhicule, notamment lorsque celle-ci fait suite à une phase de conduite autonome durant laquelle le participant est engagé dans une tâche non liée à la conduite.

## 3. Méthode

### 3.2.1. Participants

Cinquante personnes ont été incluses dans cette étude : 25 personnes jeunes (âgées de 21 ans à 45 ans) et 25 personnes âgées de plus de 65 ans. Les participants ont été recrutés par annonce (envoi d'un message sur les médias sociaux de l'Université Gustave Eiffel et aux associations locales). Les critères d'inclusion étaient les suivants : être âgé de 21 ans ou plus ; parler couramment le français ; déclarer ne pas avoir d'antécédents neurologiques ; être affilié à ou bénéficiaire d'un régime de sécurité sociale ; être titulaire du permis de conduire B. Les critères d'exclusion étaient les suivants : une déficience visuelle grave ou daltonisme, une surdité totale ou partielle ainsi que des troubles moteurs pouvant perturber les temps de réaction. Les participants à l'étude ont perçu une indemnité de 100 euros versée en compensation des contraintes et des frais générés par leur participation. Cette recherche a reçu l'avis favorable du comité d'éthique interne de l'Université Gustave Eiffel le 24 Juin 2019.

### 3.2.2. Matériel

#### *Tests neuropsychologiques*

Plusieurs tests neuropsychologiques évaluant différentes habiletés cognitives touchées par les effets du vieillissement (flexibilité mentale, vitesse de traitement, attention) ont été réalisés.

- Le Montreal Cognitive Assessment (MoCA)

Cet outil s'administre en 10 minutes, il permet de déceler une atteinte neurocognitive légère. Il est composé de plusieurs épreuves évaluant la mémoire à court terme, la mémoire de travail, les capacités visuo-spatiales, les fonctions exécutives, les capacités attentionnelles, la concentration, le langage et l'orientation spatio-temporelle. Selon Nasreddine et al. (2005), le MoCA possède toutes les qualités attendues d'un test neuropsychologique : une très bonne sensibilité pour détecter les troubles cognitifs légers et la démence, une consistance interne maintenue tout au long du test, une fidélité test-retest ainsi qu'une fidélité interjuge importantes. Ce test, dédié aux personnes âgées, a également été administré aux jeunes conducteurs dans cette étude.

- Le Trail Making Test (TMT)

Ce test est composé en deux parties. La partie A évalue principalement la vitesse psychomotrice. Elle consiste à relier le plus rapidement possible une série de chiffres croissante allant de 1 à 25 en sélectionnant à chaque instant le chiffre pertinent parmi les 25 items possibles, tandis que dans la partie B du TMT, le sujet doit mener de front deux séries en alternance : une série de chiffres et une série de lettres (1-A-2-B-3-C... 13). Il s'agit donc de planifier en parallèle, mais de manière alternée, deux séries automatisées sans qu'elles n'interfèrent entre elles en activant en permanence la séquence pertinente et en inhibant temporairement la seconde. Le calcul de la différence de temps de réalisation entre la partie B et A fournit un indicateur des capacités de contrôle exécutif (Sanchez et al. 2014).

- Tâche d'empan en mémoire de travail de la WAIS IV

Cette tâche d'empan consiste à rappeler oralement une liste de chiffres dans l'ordre. Le nombre de chiffres à rappeler dans l'ordre est de plus en plus important, la tâche devenant de fait de plus en plus difficile. L'empan mnésique désigne le nombre maximum de chiffres que le participant peut restituer immédiatement après les avoir entendus. Cet empan personnalisé est utilisé comme tâche non liée à la conduite dans l'expérimentation 2 : Pendant la phase autonome, le conducteur doit rappeler 4 séries de chiffres dans l'ordre. Au moment de la reprise en main, il est également en train de rappeler des chiffres (tâche d'empan).

## Questionnaires

- Questionnaire sociodémographique

Un questionnaire concernant les caractéristiques sociodémographiques et les données de mobilité et de sécurité routière est complété par tous les participants. Ils répondent également à des questions concernant leurs ressentis vis-à-vis d'un véhicule autonome et l'usage qu'ils en feraient.

- Questionnaire d'acceptabilité

Les personnes complètent un questionnaire, développé pour les besoins de cette étude, qui cherche à comprendre dans quelle mesure les personnes âgées sont favorables et confiantes vis-à-vis d'un véhicule automatisé. Quelques questions issues du volet épidémiologique du WP 8.1 sont également adressées aux deux groupes de personnes participant à cette étude.

- Questionnaire NASA-TLX

La version française du questionnaire "National Aeronautics and Space Administration Task Load Index" (NASA-TLX) (Hart et Staveland 1988) est également utilisée. Ce questionnaire mesure l'impact subjectif d'une tâche sur 6 dimensions : l'effort mental, l'effort physique, la pression temporelle, la performance, le niveau de frustration ainsi que l'effort global d'une tâche. La notation se réalise par le choix d'un chiffre sur une échelle graduée de 0 à 10, 0 indiquant un impact faible de la tâche sur la dimension et 10 un impact élevé. Après avoir réalisé la tâche sur simulateur, le participant doit remplir trois fois la NASA-TLX : une fois pour indiquer l'impact subjectif de la tâche de conduite, une seconde fois pour indiquer l'impact subjectif de la tâche de rappel d'empan, une troisième fois pour indiquer l'impact subjectif de la tâche de conduite lorsque la tâche de rappel d'empan est présente. Pour les besoins de cette étude, le score d'effort mental (/10) a été analysé et comparé entre les deux groupes. Concernant l'effort mental, l'expérimentateur demandait si la tâche avait été plutôt facile ou exigeante.

## Expérimentations sur simulateur de conduite

Les deux expérimentations sont réalisées sur un mini-simulateur de conduite à 3 écrans dans les locaux de l'Université Gustave Eiffel (Figure 1). Plusieurs scénarii ont été développés pour les besoins de cette étude. Ils ont été réalisés à l'aide du logiciel de simulation STISIM version 3.0.



Figure 2. Type de simulateur utilisé

Avant les deux expérimentations, une phase de familiarisation de 10 minutes est proposée afin que la prise en main du simulateur se fasse de manière très progressive et que les participants s'approprient la conduite sur simulateur en utilisant la pédale de frein, l'accélérateur et le volant. Une phase de familiarisation est également proposée avant chaque expérimentation pour que le participant s'approprie la consigne de l'expérimentation et la tâche demandée. Chaque participant réalise les deux expérimentations successivement.

### **Expérimentation 1 : Evaluer l'acceptabilité du véhicule automatisé**

Pour cette expérimentation, deux scénarii ont été développés.

Le premier consiste à conduire une voiture à boîte automatique sur différentes portions de route : route nationale limitée à 80km/h, route traversant une zone résidentielle limitée à 70 km/h, route deux fois deux voies limitée à 110 km/h puis à 90 km/h et autoroute limitée à 130 km/h. Pendant la conduite, le conducteur est amené à doubler des voitures, ralentir au passage de piétons traversant la voie, se déporter légèrement sur la gauche pour éviter une portière de voiture.

Le second scénario est un rejeu du premier scénario. Il est demandé au participant de préciser à quel moment il souhaiterait reprendre le véhicule en main. Quand il souhaite reprendre en main le véhicule, il doit appuyer sur un bouton placé sur le volant et déclarer en même temps à haute voix : « je reprends la main ». Dès qu'il souhaite passer en mode autonome, il doit appuyer sur un autre bouton placé sur le volant et déclarer à haute voix : « je passe en mode autonome ». En réalité, le véhicule reste tout le temps en mode autonome. Un questionnaire développé pour les besoins de cette étude est proposé avant et après la mise en situation sur simulateur de conduite. Il comprend des questions sur le confort, l'utilité, et la confiance envers le véhicule automatisé.

**Variables mesurées :** Les variables mesurées sont les réponses aux questionnaires avant et après la mise en situation sur simulateur et le nombre de fois où le participant souhaite reprendre en main le véhicule.

## Expérimentation 2 : Tester la capacité de reprise en main des conducteurs âgés

Dans cet autre scénario, le participant doit conduire sur une route composée de deux fois deux voies en respectant la limitation de vitesse à 70km/h. Il alterne entre des phases de conduite autonome et de conduite manuelle. Il doit reprendre en main le véhicule à la demande du système suite à des événements inattendus (ex. : véhicule arrêté sur la voie, ou présence de travaux). Pour demander la reprise en main du véhicule au participant, le système émet une alerte auditive (bips augmentant en intensité) qui retentit 7,5 secondes avant l'événement. Cette durée se base sur des durées d'intervalle fréquemment utilisées dans la littérature et dans les systèmes en cours de développement. Dans les deux cas, il faut contourner ces obstacles. Le participant appuie sur un bouton au niveau du volant pour indiquer qu'il reprend bien en main le véhicule. Une fois qu'il a appuyé sur le bouton, le participant passe en conduite manuelle et doit réaliser sa manœuvre pour éviter l'obstacle. Lorsque le système repasse en mode autonome, le système émet une nouvelle alerte auditive (bips diminuant en intensité).

Au total, il y a 8 reprises en main du véhicule par le participant à la demande du système : 4 phases de reprise en main du véhicule alors que le participant est engagé dans la tâche non liée à la conduite pendant la phase autonome et 4 autres sans présence de cette tâche. Chaque phase de conduite automatisée dure 1 minute 30 ou 2 minutes. La présence ou non de la tâche non liée à la conduite est randomisée. La survenue des événements est également randomisée afin qu'il n'y ait pas d'effet d'apprentissage par le participant. La figure 3 présente le déroulement du scénario.

<b>Manuelle</b>		90	120	90	120	90	120	90	120
<b>Autonome</b>	120	120	90	90	120	120	90	90	
<b>Tâche non liée à la conduite</b>	Avec	Avec	Sans	Avec	Sans	Sans	Sans	Sans	Avec

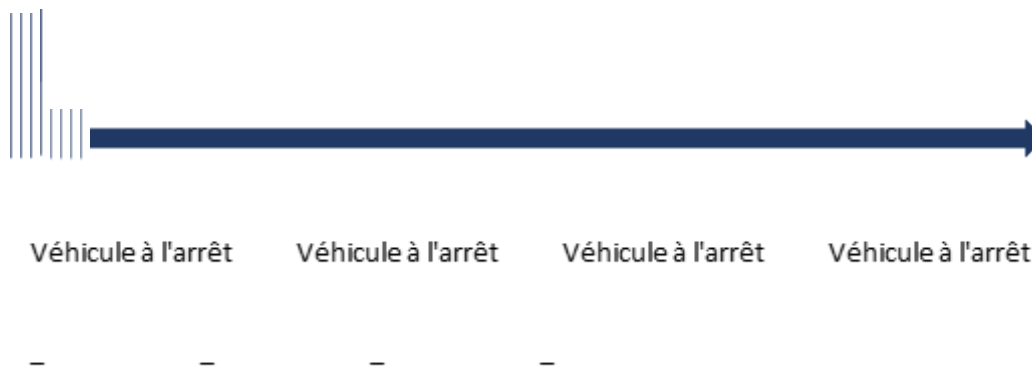


Figure 3. Déroulé du scénario de conduite. Chaque nombre représente la durée de la phase de conduite en secondes (90 sec. ou 120 sec.).

La tâche non liée à la conduite est une tâche d'empan qui se base sur le nombre maximum de chiffres que le participant peut restituer immédiatement après les avoir entendus. Tous les participants sont donc mis dans les mêmes conditions de contraintes en termes de charge cognitive pendant la tâche principale de reprise en main.

#### **Variables mesurées :**

Nous avons mesuré le nombre d'erreurs non corrigées lors de la tâche d'empan pendant la phase autonome.

Nous avons défini deux périodes :

- **Pendant la reprise en main** : période qui commence à partir du moment où le participant appuie sur le bouton pour reprendre en main le volant et qui termine au début de l'obstacle
- **Après la zone de reprise en main** : qui commence à partir du moment où il repasse sur la voie de droite et où il est positionné au centre de la voie jusqu'à l'écoute du prochain bip qui indique que le système passe en mode autonome.

Pour mesurer la performance de reprise en main, le temps de reprise en main et la qualité de la reprise en main sont analysées :

- Le temps de reprise en main du véhicule : temps en secondes entre le début de l'alerte auditive et l'appui sur le bouton.

#### **Pendant la reprise en main :**

- Le temps minimum avant la collision : temps minimum entre le moment où le participant change de voie et l'apparition de l'événement inattendu (dans ce scénario : voiture sur la voie

de droite ou zone de travaux). Cet algorithme prend en compte la vitesse de conduite du participant.

- La vitesse moyenne et sa variabilité
- La position latérale sur la voie et sa variabilité
- L'angle du volant et sa variabilité

#### **Après la reprise en main :**

- La vitesse moyenne suite à la reprise en main et sa variabilité : vitesse du participant pendant la phase de conduite manuelle après la phase de reprise en main.
- La position latérale et sa variabilité
- L'angle du volant et sa variabilité

#### 4. Procédure

Tout d'abord, le participant réalise plusieurs tests neuropsychologiques (MoCA, TMT A et TMT B). La tâche d'empan de chiffres est réalisée afin de déterminer l'empan propre de chaque participant. Celui-ci sera ensuite utilisé pour la tâche non liée à la conduite. Il complète ensuite les questionnaires sur les informations sociodémographiques, les données de mobilité et de sécurité routière. Enfin, il remplit une première fois un questionnaire d'acceptabilité du véhicule automatisé. Une fois complété, le participant s'installe sur le simulateur de conduite. Une tâche de familiarisation avec le simulateur de conduite est proposée. Puis, le participant réalise la première expérimentation. Tout de suite après ce scénario, le même questionnaire d'acceptabilité lui est proposé.

Il réalise ensuite la deuxième expérimentation dans laquelle il doit reprendre en main le véhicule suite à des événements inattendus. Après ce scénario, le participant doit indiquer la tâche qu'il privilégiait entre la reprise en main et la répétition de chiffres. Le questionnaire NASA-TLX lui est proposé pour évaluer son ressenti en termes de charge cognitive, d'effort physique ou mental durant la tâche de conduite ainsi que pendant la tâche de répétition de chiffres.

La durée totale de l'ensemble est d'environ deux heures (tests : 20 mn, questionnaires : 10 mn, expérimentation 1 : 40 mn, questionnaire expérimentation 2 : 40 mn, NASA : 10mn).

#### 5. Analyses statistiques

La normalité des données est vérifiée par le test de Kolmogorov-Smirnov. Si les données ne suivent pas une distribution normale, les tests non paramétriques sont réalisés. Sinon, les tests paramétriques (t de Student) sont utilisés. Pour les variables catégorielles, le test de Chi<sup>2</sup> est utilisé.

Expérimentation 1 :

Afin d'étudier l'acceptabilité du véhicule automatisé par les conducteurs âgés, les réponses au questionnaire d'acceptabilité sont comparées entre les deux groupes d'âge en utilisant un test de comparaison de moyennes sur deux échantillons indépendants comme le test de Student si les données sont normales ou un test de Wilcoxon si elles ne suivent pas une loi normale.

Afin de déterminer si la conduite sur simulateur favorise l'acceptabilité du véhicule automatisé par les conducteurs âgés, les réponses à ce questionnaire avant et après l'expérimentation 1 sont totalisées et les scores sont comparés en utilisant des tests de comparaison de moyennes sur échantillons appariés.

De plus, le nombre de fois où la personne a déclaré vouloir reprendre en main le véhicule est comparé entre les deux groupes à l'aide d'un test de comparaison de moyenne (U de Mann et Whitney).

#### Expérimentation 2 :

Afin d'étudier les effets du vieillissement sur la capacité de reprise en main du véhicule, des analyses de variance à mesures répétées ont été réalisées. La variable inter-sujet est le groupe d'âge à deux modalités : les personnes jeunes et les personnes âgées. La variable intra-sujet concerne la présence de la tâche non liée à la conduite à deux modalités : avec versus sans. Les variables dépendantes sont le temps de reprise en main du véhicule, les performances de conduite pendant la reprise en main (angle du volant, variation au niveau de l'angle du volant, vitesse, variabilité de la vitesse, position sur la voie, variabilité de la position sur la voie, et le temps minimum avant la collision) et les performances de conduite après la reprise en main (angle du volant, variation au niveau de l'angle du volant, vitesse, variabilité de la vitesse, position sur la voie, variabilité de la position sur la voie). L'interaction entre le groupe d'âge et la présence de la tâche non liée à la conduite et les tailles d'effet ( $\eta^2$ ) sont rapportées. Les tests de comparaisons multiples par paires (correction de Bonferroni) sont réalisés afin de préciser le sens des interactions.

Le nombre d'erreurs non corrigées à la tâche d'empan lors de la phase de conduite autonome est comparé entre les groupes d'âge.

## 6. Résultats

### 6.1 Participants

Parmi les 25 personnes âgées, 3 personnes n'ont pas réalisé la première partie sur simulateur et 4 personnes n'ont pas réalisé la tâche de reprise en main sur simulateur à cause du mal du simulateur. Au total, 29 personnes jeunes et 21 personnes âgées ont réalisé l'ensemble de l'expérimentation. Toutes les analyses ont donc été réalisées sur 29 participants jeunes et 21 personnes âgées.

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques et caractéristiques de conduite des participants

	Personnes jeunes N = 29	Personnes âgées N = 21	Test	Valeur de P
Age	25 ± 3	70 ± 4		
Min-Max	20-32	65-77		
nFemmes/nHommes	15/14	9/12	Chi <sup>2</sup>	0,54
Niveau d'études	15 ± 2	11 ± 4	U	< 0,001
Nombre d'années de conduite	7 ± 3	49 ± 4	U	< 0,001
Km parcourus par semaine	133 (24)	131 (24)	U	0,60
Utilisation voiture				
1fois / mois ou moins	7	1	Fisher	<b>0,01</b>
1 fois / semaine	6	0		
2 à 3 fois / semaine	8	7		
Tous les jours ou presque	8	13		

U : test de Mann-Whitney

Comme attendu, les personnes âgées ont un niveau d'études moins élevé et un nombre d'années de conduite plus important que le groupe de jeunes. Le nombre de personnes utilisant leur voiture tous les jours ou presque est plus important dans le groupe de personnes âgées.

## 6.2 Performances aux tests neuropsychologiques

Les personnes âgées ont des performances plus faibles que les personnes jeunes au test de MOCA, test qui mesure la cognition générale ( $27 \pm 1,6$  vs  $28 \pm 1,6$  respectivement,  $p = 0,009$ ) et au TMT (Temps<sub>TMT-A</sub> Agés:  $36 \pm 13$ , Temps<sub>TMT-A</sub> Jeunes :  $25 \pm 7$ ,  $p = 0,001$  ; TMT-B :  $105 \pm 30$  vs  $54 \pm 21$ ,  $p < 0,001$  ; Temps<sub>TMT B-A</sub> Agés :  $69 \pm 23$  vs Temps<sub>TMT B-A</sub> Jeunes :  $30 \pm 18$ ,  $p < 0,001$ ). Par contre, aucune différence entre les deux groupes n'a été observée pour le niveau d'empan (Score<sub>empan</sub> Agés :  $5,90 \pm 1,04$  vs Score<sub>empan</sub> Jeunes :  $6,48 \pm 1,09$ ,  $p = 0,19$ ).

## 6.3 Equipement ADAS chez les personnes âgées

Globalement, le nombre de personnes déclarant être équipé d'ADAS ne diffère pas entre les deux groupes. Une proportion équivalente dans les deux groupes déclare les utiliser (Tableau 2).

Tableau 2 : Equipement et utilisation d'ADAS en fonction du groupe d'âge

N, %	Personnes jeunes N = 29	Personnes âgées N = 21	Valeur de P
Equipement ADAS			
Limiteur	13 (45%)	10 (48%)	0,85

Régulateur	15 (52%)	12 (57%)	0,70
Utilisation ADAS			
Limiteur	5 (17%)	6 (29%)	0,30
Régulateur	8 (28%)	7 (33%)	0,64
Test de Chi 2			

Trois participants âgés sur les 21 précisent qu'ils ont déjà pensé à arrêter de conduire, l'un pour des raisons financières, l'autre pour ne plus conduire sur de longs trajets et le dernier évoquant le manque de réflexe ressenti avec l'âge.

Lorsqu'on demande aux personnes de s'exprimer par rapport à un véhicule autonome dans certaines situations (embouteillages, autoroute, pour le stationnement), les réponses des participants jeunes ne diffèrent pas beaucoup de celles des participants âgés (Tableau 3). Les conducteurs âgés seraient significativement plus nombreux à souhaiter une formation avant usage.

Notons que la crainte exprimée vis-à-vis d'un véhicule autonome est très importante dans les deux groupes, supérieure à 80%.

Tableau 3 : Perceptions, attentes et craintes vis-à-vis du véhicule automatisé

n, %	Personnes jeunes		Personnes âgées		p-value chi <sup>2</sup> *
	N = 29		N = 21		
	Oui	Peut-être	Oui	Peut-être	
<b>Pensez-vous que...</b>					
Vous activeriez ces systèmes	13 (45%)	11 (38%)	9 (43%)	6 (29%)	0,60
Vous réaliseriez des trajets plus longs	4 (14%)	6 (21%)	5 (24%)	8 (38%)	0,16
Vous emprunteriez plus souvent des autoroutes	5 (17%)	6 (21%)	5 (24%)	2 (1%)	0,53
Vous conduiriez plus aux heures de pointe	7 (24%)	4 (14%)	1 (4%)	1 (4%)	0,07
Vous auriez des difficultés à utiliser ces technologies	6 (20%)	9 (31%)	7 (33%)	9 (43%)	0,2
Vous feriez confiance en ces technologies	14 (48%)	9 (31%)	8 (38%)	6 (29%)	0,6
Vous achèteriez ce type de véhicules	5 (17%)	14 (48%)	7 (33%)	4 (19%)	0,09
Vos proches vous encourageront à utiliser ce véhicule	3 (10%)	19 (66%)	5 (24%)	11 (52%)	0,4
<b>Vous souhaiteriez</b>					
Tester ce type de véhicules avant de l'acheter	25 (86%)	2 (6%)	18 (86%)	0 (0%)	0,30
Avoir des retours d'expérience avant	19 (65%)	7 (24%)	17 (33%)	4 (19%)	0,64
Avoir une formation avant utilisation	17 (57%)	6 (20%)	19 (90%)	1 (4%)	<b>0,047</b>

<b>Craintes envers véhicule complètement autonome</b>	25 (86%)	16 (81%)	0,36
---	----------	----------	------

\*Chi 2 fait sur les 3 modalités : « oui » « non » « peut-être »

Comme le montre le tableau 4, les jeunes comme les âgés considèrent que le véhicule automatisé pourrait être utilisé par tous les conducteurs, qu'il faciliterait la conduite pour les personnes âgées et les personnes ayant des problèmes de santé. Les notes moyennes attribuées sur 5 ne sont pas différentes entre les participants jeunes et les âgés.

Les jeunes se montrent aussi prêts que les âgés à utiliser le véhicule automatisé, et l'expérimentation n'a pas modifié cette intention d'utilisation puisqu'aucune différence n'est enregistrée entre avant et après, ni chez les jeunes ( $z = -0,22$ ,  $p = 0,8$ ), ni chez les âgés ( $z = -1,58$ ,  $p = 0,1$ ).

Tableau 4 : Utilité perçue du véhicule automatisé et intention d'utilisation selon les groupes jeunes et âgés

moy (écart-type)	Personnes jeunes N = 29	Personnes âgées N = 21	p-value chi 2
<b>Vous considérez que le véhicule automatisé ...</b>			
peut être utilisé par tous les conducteurs	3,0 (1,2)	3,5 (1,4)	0,1
faciliterait la conduite des personnes âgées	3,9 (0,8)	3,8 (1,0)	0,2
faciliterait la conduite de personnes avec pb de santé	4,0 (1,0)	3,9 (1,2)	0,3
<b>Vous êtes prêts à utiliser un véhicule automatisé</b>			
Avant expérimentation	3,3 (1,2)	3,0 (1,3)	0,8
Après expérimentation	3,4 (1,2)	3,3 (1,1)	0,5

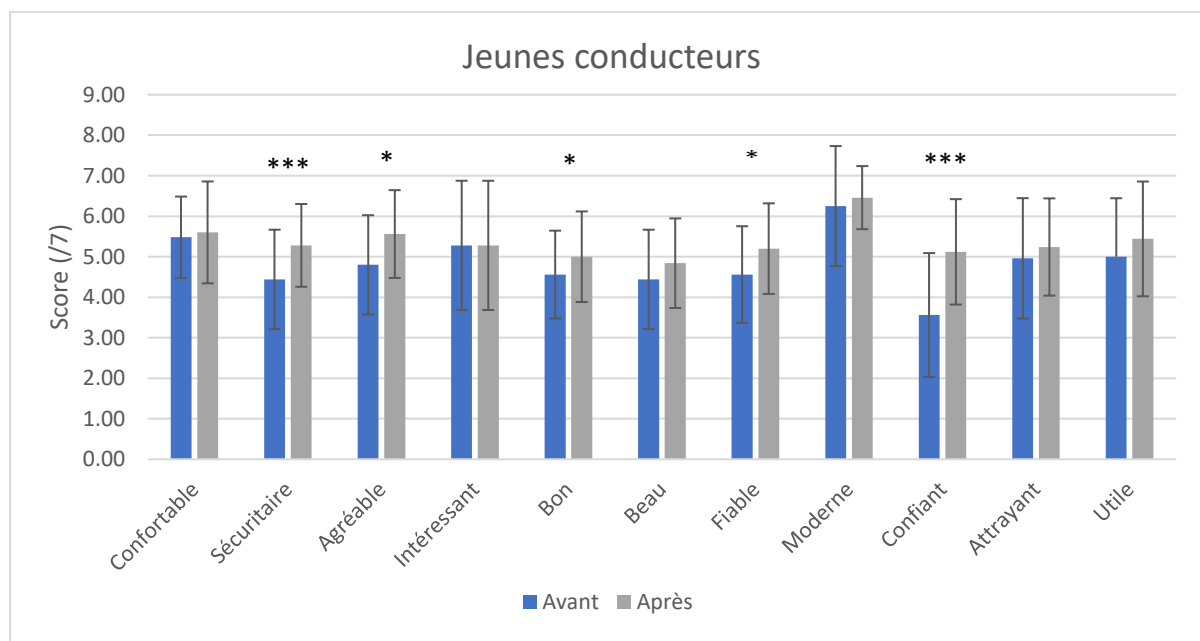
Note sur une échelle en 5 points, plus le score est élevé, plus les personnes sont favorables

#### 6.4 Acceptabilité avant / après

##### *Ressenti global exprimé sur une échelle de Likert d'après une liste d'adjectifs*

Les scores moyens de ressentis exprimés sur une échelle en 7 points avant et après l'expérimentation sur le simulateur de conduite pour les 29 participants jeunes et 21 âgés sont présentés sur les figures 4 et 5 respectivement.

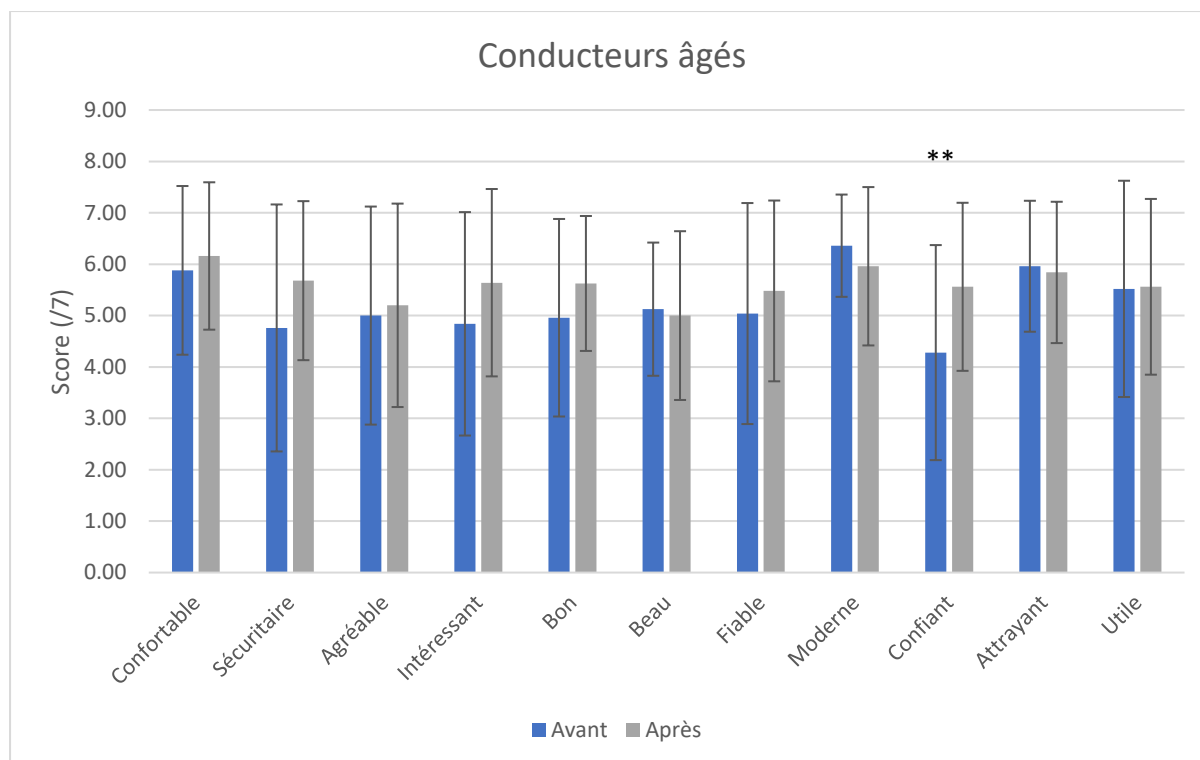
Plusieurs ressentis ont été modifiés dans le groupe des jeunes après l'exposition à la conduite automatisée. Un gain important en termes, à la fois de sécurité, de fiabilité et de confiance est observé. Les jeunes évoluent également dans leur façon d'appréhender la conduite automatisée : elle est jugée plus agréable et meilleure après l'expérimentation. Globalement on observe qu'il y a toujours, à l'exception de l'item « intéressant », une amélioration de la perception entre avant et après chez les jeunes (même si elle n'est pas significative).



\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Figure 4 : Evolution de la perception du véhicule automatisé avant et après l'expérimentation chez les jeunes conducteurs

Pour les conducteurs âgés, un seul ressenti évolue favorablement et de manière significative entre avant et après l'expérience de conduite automatisée : les conducteurs se disent significativement plus confiants après avoir expérimenté la conduite automatisée sur le simulateur de conduite (Figure 5). Comme dans le groupe des jeunes, il y a globalement une amélioration des scores (même si elle n'est pas significative) pour la plupart des items, sauf pour les items « beau » « moderne » « attrayant » « utile ».



\*\*  $p < 0.01$

Figure 5 : Evolution de la perception du véhicule automatisé avant et après l'expérimentation chez les conducteurs âgés

*Changements les plus significatifs entre les jeunes et les âgés en termes de ressentis.*

Avant l'expérimentation, les ressentis exprimés par les jeunes conducteurs diffèrent significativement par rapport aux âgés pour les items « confortable », « attrayant », « utile », les âgés les jugeant toujours plus favorablement que les jeunes (tableau 5).

Après l'expérimentation, les ressentis exprimés par les jeunes conducteurs diffèrent significativement par rapport aux plus âgés pour les deux mêmes items « confortable » et « attrayant », jugés toujours plus favorablement par les conducteurs âgés. C'est également le cas de l'item « sécuritaire » qui est ressenti comme plus important après l'expérimentation chez les âgés, en comparaison aux jeunes, comme si l'exposition à la conduite automatisée avait renforcée ce sentiment de sécurité.

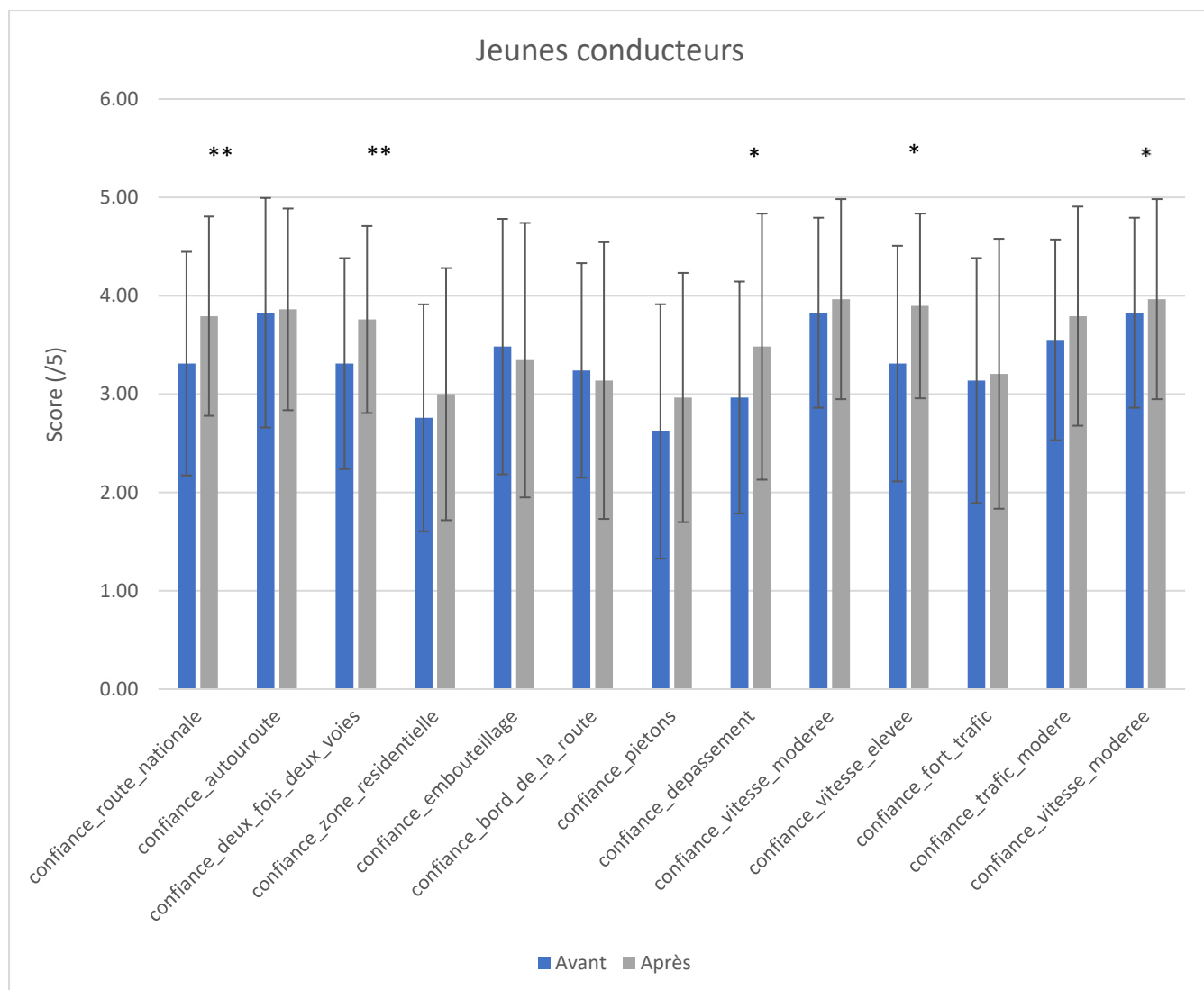
Tableau 5 : Ressentis pour lesquels il existe une différence entre les jeunes et les âgés avant et après l'exposition à la conduite automatisée

		Jeunes	Agés	p- value
<b>AVANT</b>	Confortable	5,5 (1,0)	5,9 (1,7)	0,03
	Attrayant	4,9 (1,5)	5,9 (1,3)	0,008
	Utile	5,0 (1,4)	5,5 (2,1)	0,03
<b>APRES</b>	Confortable	5,6 (1,3)	6,2 (1,4)	0,03
	Attrayant	5,3 (1,0)	5,7 (1,5)	0,04
	Sécuritaire	5,2 (1,2)	5,8 (1,4)	0,05

U Mann-Whitney

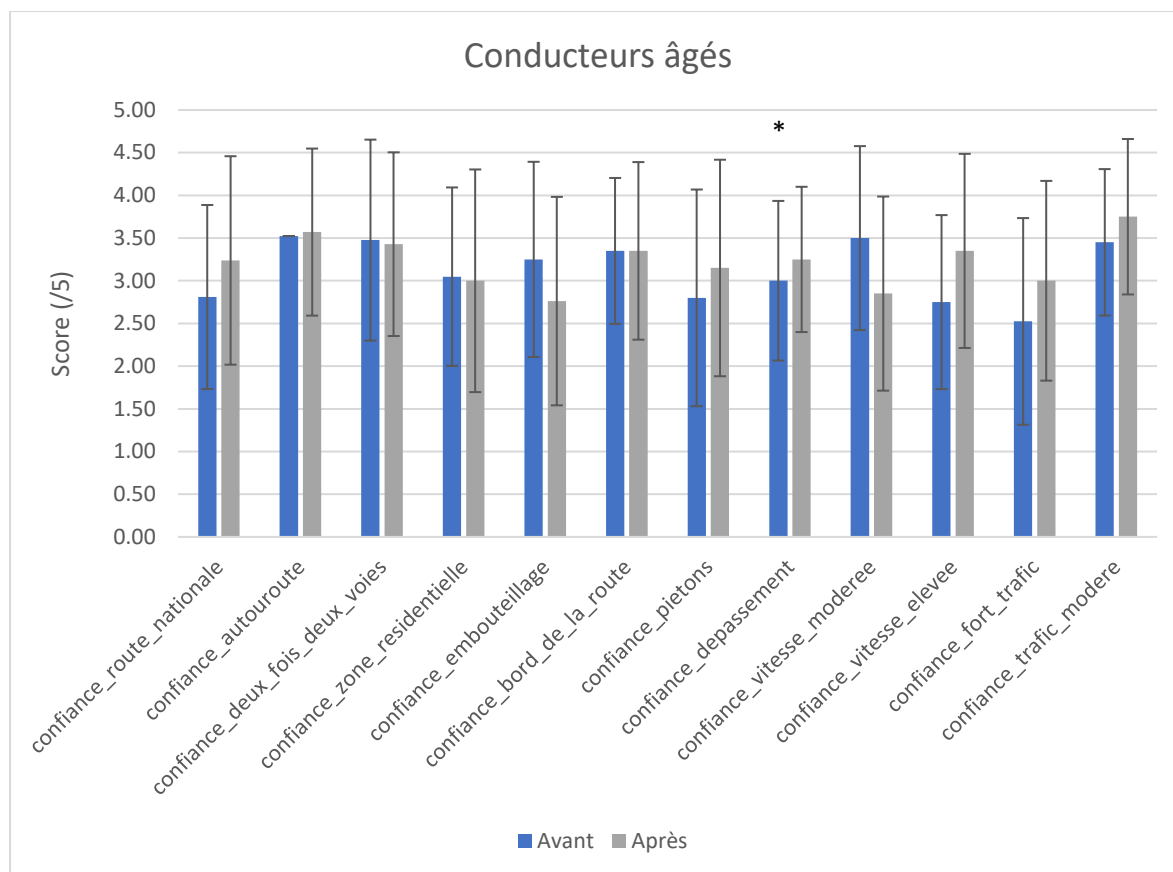
### 6.6 Evolution du sentiment de confiance dans le système automatisé avant et après l'expérimentation

Globalement les deux situations pour lesquelles le niveau de confiance est moindre chez les jeunes conducteurs avant et après l'expérimentation sont les zones résidentielles et les zones avec piétons (notés en dessous de 3, Figure 6). Dans le groupe de jeunes conducteurs, la confiance dans certaines situations de conduite a significativement augmenté, c'est le cas de la conduite sur autoroute, sur une deux fois deux voies, lors d'un dépassement et à vitesse à la fois modérée et élevée. En revanche, on observe un seul changement chez les âgés, en termes de gain de confiance, après l'expérimentation, pour la situation dépassement. Pour les âgés, les zones résidentielles et les zones à fort trafic entraînent un niveau de confiance plus faible par rapport aux autres situations avant et après l'expérimentation (Figure 7).



\* p<0.05, \*\*p<0.01

Figure 6 : Evolution du niveau de confiance entre avant et après l'expérience dans le groupe des jeunes



\*P < 0.05

Figure 7 : Evolution du niveau de confiance entre avant et après l'expérimentation dans le groupe des jeunes

*Changements les plus significatifs entre les jeunes et les âgés en termes de confiance.*

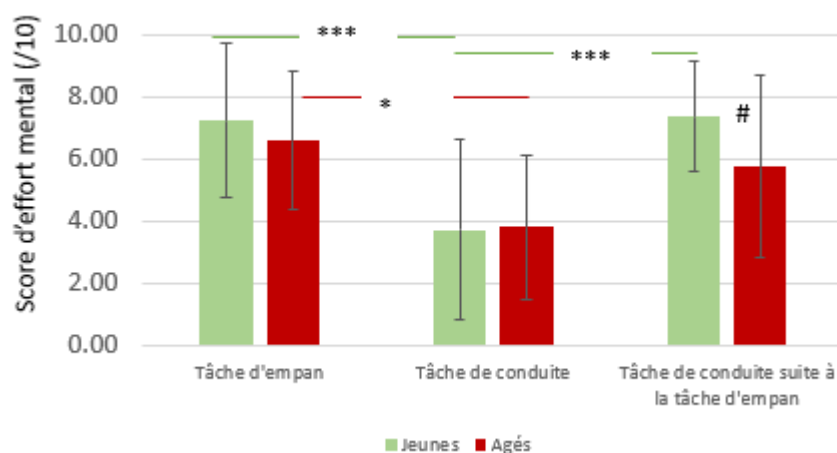
Aucune différence significative n'est observée entre les jeunes et les âgés sur tous les critères de confiance avant l'expérimentation. En revanche, après l'expérimentation, on relève une différence significative pour l'item vitesse élevée, les jeunes ont plus confiance que les plus âgés dans le véhicule automatisé à vitesse élevée (U = 158, p = 0,005).

*Nombre de reprises en main souhaitées*

Le nombre de fois où le participant a souhaité reprendre en main le véhicule ne varie pas de manière significative en fonction du groupe d'âge (U = 241, p = 0,31 ; moyennes et écart type chez les jeunes =  $2.5 \pm 1.9$  et chez les âgés =  $2.1 \pm 2.5$ ).

## 6.7 Scores à l'effort mental de la NASA-TLX

Il n'existe pas de différences significatives entre les deux groupes pour le score d'effort mental lors de la tâche d'empan et la tâche de conduite. Le score d'effort mental pour la tâche de conduite suite à la tâche d'empan pendant la phase autonome tend à être plus faible chez les personnes âgées que chez les personnes jeunes ( $p = 0,096$ ). Les personnes jeunes déclarent un effort mental moindre pour la tâche de conduite par rapport à la tâche d'empan ou la tâche de conduite suite à la tâche d'empan pendant la phase autonome ( $p < 0,001$ ). Les personnes âgées déclarent un effort mental moindre pour la tâche de conduite par rapport à la tâche d'empan ( $p = 0,01$ ).



\*\*\* $p < 0.001$

\*\*  $p < 0.05$

Figure 8 : Scores d'effort mental pour les deux groupes d'âge lors la tâche d'empan, la tâche de conduite et la tâche de conduite suite à la tâche d'empan pendant la phase autonome

## 6.8 Performances de reprise en main chez les personnes âgées

### *Pendant la reprise en main*

Le tableau 6 ci-dessous présente les résultats des analyses de variance à mesures répétées sur les performances de conduite pendant la reprise en main du véhicule.

Tableau 6 : Analyses de variance à mesures répétées pour les performances de conduite pendant la reprise en main

Performance de conduite	Tâche non liée à la conduite	Groupe	Tâche non liée à la conduite *Groupe
Temps de reprise en main	$F_{1,48} = 16,99, p < 0,001, \eta^2 = 0,26$	$F_{1,48} = 2,49, p = 0,12, \eta^2 = 0.05$	$F_{1,48} = 4,63, p = 0,04, \eta^2 = 0.09$

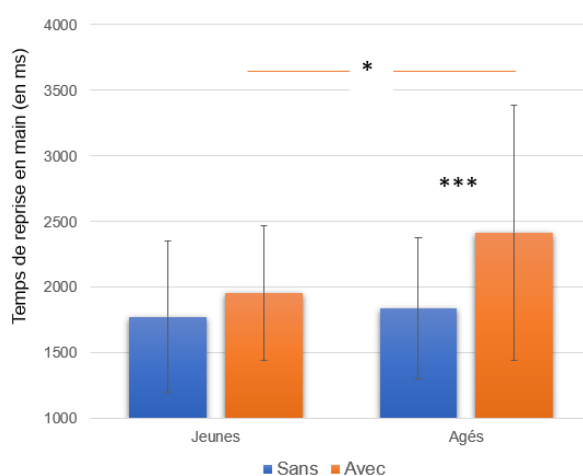
Temps minimum à la collision		$F_{1,48} = 0,02$ , $p = 0,89$ , $\eta^2 < 0,001$	$F_{1,48} = 0,59$ , $p = 0,45$ , $\eta^2 = 0,01$	<b><math>F_{1,48} = 4,61</math>, <math>p = 0,04</math>, <math>\eta^2 = 0,09</math></b>
Vitesse	Moyenne	$F_{1,48} = 0,33$ , $p = 0,33$ , $\eta^2 = 0,007$	<b><math>F_{1,48} = 9,70</math>, <math>p = 0,003</math>, <math>\eta^2 = 0,17</math></b>	$F_{1,48} = 1,25$ , $p = 0,27$ , $\eta^2 = 0,03$
	Ecart-type	$F_{1,48} = 0,38$ , $p = 0,54$ , $\eta^2 = 0,008$	$F_{1,48} = 3,36$ , $p = 0,073$ , $\eta^2 = 0,07$	<b><math>F_{1,48} = 6,51</math>, <math>p = 0,01</math>, <math>\eta^2 = 0,12</math></b>
Position sur la voie	Moyenne	<b><math>F_{1,48} = 5,20</math>, <math>p = 0,03</math>, <math>\eta^2 = 0,098</math></b>	<b><math>F_{1,48} = 4,20</math>, <math>p = 0,046</math>, <math>\eta^2 = 0,08</math></b>	$F_{1,48} = 0,33$ , $p = 0,57$ , $\eta^2 = 0,007$
	Ecart-type	$F_{1,48} = 0,13$ , $p = 0,72$ , $\eta^2 = 0,003$	$F_{1,48} = 1,07$ , $p = 0,31$ , $\eta^2 = 0,02$	$F_{1,48} = 1,21$ , $p = 0,28$ , $\eta^2 = 0,03$
Angle du volant	Moyenne	$F_{1,48} = 0,50$ , $p = 0,48$ , $\eta^2 = 0,01$	$F_{1,48} = 0,001$ , $p = 0,98$ , $\eta^2 < 0,001$	$F_{1,48} = 1,91$ , $p = 0,17$ , $\eta^2 = 0,04$
	Ecart-type	<b><math>F_{1,48} = 4,68</math>, <math>p = 0,04</math>, <math>\eta^2 = 0,09</math></b>	<b><math>F_{1,48} = 10,34</math>, <math>p = 0,002</math>, <math>\eta^2 = 0,18</math></b>	$F_{1,48} = 0,073$ , $p = 0,79$ , $\eta^2 = 0,002$

Les valeurs en gras sont significatives. \* (1) Sans tâche d'empan; (2) Avec tâche d'empan.

‡Ajusté pour les comparaisons multiples avec correction de Bonferroni.

- Le temps de reprise en main du véhicule

Le temps de reprise en main est plus long suite à la phase de conduite autonome en présence de la tâche secondaire non liée à la conduite (tableau 6). Néanmoins, ce résultat n'est observé que chez les personnes âgées (interaction significative,  $P < 0,001$ ) (Figure 9). Le coût chez les jeunes est de 181 msec et le coût chez les personnes âgées est de 578 msec. De plus, les personnes âgées ont un temps de reprise en main plus long que les jeunes suite à la phase de conduite autonome en présence de la tâche d'empan ( $P < 0,038$ ).

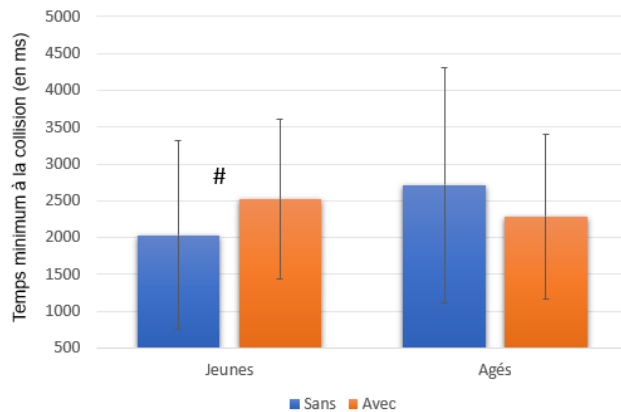


\*\*\*  $P < 0,001$

Figure 9. Temps de reprise en main des conducteurs jeunes et âgés en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome

- Le temps minimum avant la collision

Nous n'avons pas montré d'effet principal du groupe ou de la tâche non liée à la conduite sur le temps minimum avant la collision (tableau 6). L'interaction groupe\*tâche non liée à la conduite est significative ( $p = 0,04$ ). En revanche, les comparaisons appariées ne révèlent pas de différences significatives entre les groupes pour chaque condition (avec et sans). Les jeunes ont tendance à avoir des temps minimums à la collision significativement plus longs suite à la phase de conduite autonome où la tâche d'empan est présente ( $P = 0,08$ , cf. Figure 10). 10 montre que les personnes jeunes ont tendance à avoir un temps à la collision plus important suite à la phase de conduite autonome en présence de la tâche d'empan. A l'inverse, bien que ce ne soit pas significatif, les personnes âgées ont un temps à la collision globalement plus court suite à la phase de conduite autonome en présence de la tâche d'empan par rapport à la phase de conduite autonome seule (sans la tâche d'empan).

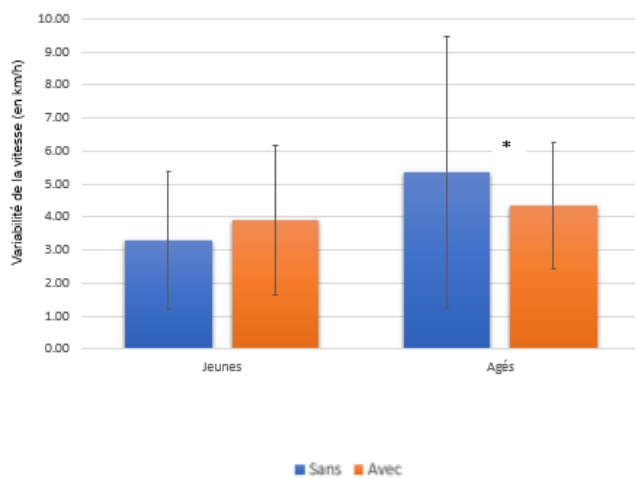


#  $0,05 < P < 0,10$

Figure 10. Temps minimum à la collision dans les deux groupes d'âge en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome

- La vitesse moyenne et sa variabilité

L'analyse de variance montre un effet principal du groupe sur la vitesse moyenne (Tableau 6). Pendant la reprise en main, les personnes âgées ont une vitesse moyenne plus faible que les personnes jeunes ( $Vitesse_{Agés} (MOY \pm ET) = 65,14 \pm 0,85$  km/h vs  $Vitesse_{Jeunes} = 68,61 \pm 0,72$  km/h,  $P = 0,003$ ). L'interaction Tâche non liée à la conduite\*Groupe sur la variabilité de la vitesse est significative. Les comparaisons appariées révèlent qu'il y a une variabilité de la vitesse plus faible dans le groupe de personnes âgées suite à la phase de conduite autonome en présence de la tâche d'empan qu'en conduite autonome seule (Variabilité de la vitesse<sub>Agés</sub> sans tâche d'empan :  $5,37 \pm 0,68$  versus Variabilité de la vitesse<sub>Agés</sub> avec tâche d'empan =  $4,36 \pm 0,46$ ,  $P = 0,04$ ), ce qui n'est pas le cas chez les jeunes (Variabilité de la vitesse<sub>Jeunes</sub> sans tâche d'empan :  $3,29 \pm 0,58$  versus Variabilité de la vitesse<sub>Jeunes</sub> avec tâche d'empan =  $3,91 \pm 0,58$ ,  $P = 0,14$ ) (Figure 11).



\*P < 0,05

Figure 11. Variabilité de la vitesse dans les deux groupes d'âge en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome

- La position latérale sur la voie et sa variabilité

Nous observons des effets principaux de la tâche non liée à la conduite et du groupe sur la position sur la voie : les participants sont positionnés plus à gauche en condition « avec » qu'en condition « sans » (Position sur la voie<sub>Sans</sub> :  $5,84 \pm 0,06$  m versus Position sur la voie<sub>Avec</sub> :  $5,71 \pm 0,06$  m,  $P = 0,03$ ). Les personnes âgées sont positionnées plus à gauche de la voie que les jeunes (Agés :  $5,66 \pm 0,08$  m versus Jeunes :  $5,88 \pm 0,07$  m,  $P = 0,046$ ).

- L'angle du volant et sa variabilité

Nous observons deux effets principaux de la tâche non liée à la conduite et du groupe sur la variabilité au niveau du volant : les participants ont une plus forte variabilité du volant en condition « avec » qu'en condition « sans » (Variabilité Angle du Volant<sub>Avec</sub> :  $14,16 \pm 1,25$  degrés versus variabilité Angle du Volant<sub>Sans</sub> :  $11,66 \pm 1,21$  degrés versus,  $P = 0,04$ ). Les personnes âgées ont une plus forte variabilité du volant que les jeunes (Agés :  $16,40 \pm 1,65$  degrés versus Jeunes :  $9,42 \pm 1,41$  degrés,  $P = 0,002$ ).

### *Après la reprise en main*

Le tableau 7 ci-dessous présente les résultats des analyses de variance à mesures répétées sur les performances de conduite après la reprise en main du véhicule.

Tableau 7 : Analyses de variance à mesures répétées pour les performances de conduite après la reprise en main

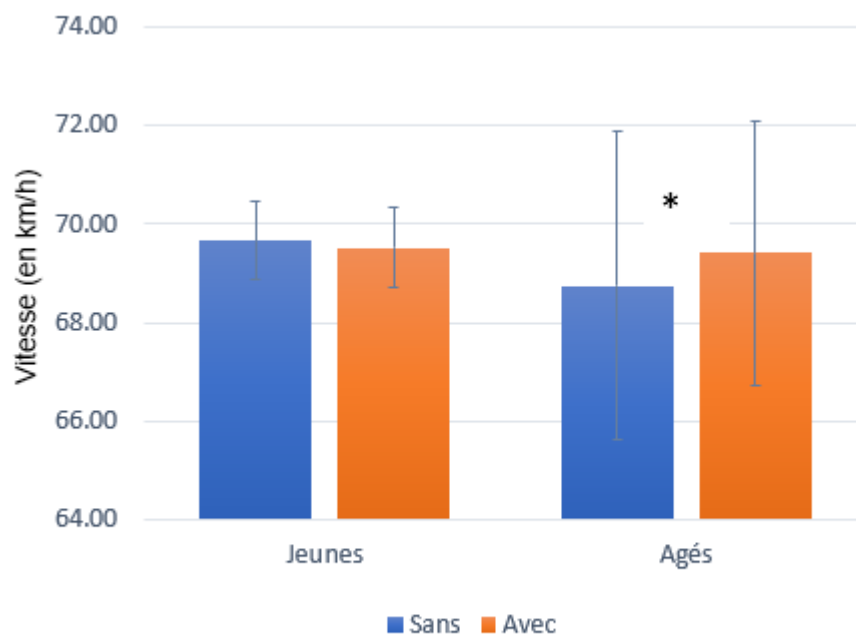
Performance de conduite		Tâche non liée à la conduite	Groupe	Tâche non liée à la conduite*Groupe
Vitesse	Moyenne	$F_{1,48} = 2,43, p = 0,13, \eta^2 = 0,05$	$F_{1,48} = 0,88, p = 0,35, \eta^2 = 0,02$	<b><math>F_{1,48} = 5,44, p = 0,02, \eta^2 = 0,10</math></b>
	Ecart-type	<b><math>F_{1,48} = 8,23, p = 0,006, \eta^2 = 0,15</math></b>	<b><math>F_{1,48} = 16,37, p &lt; 0,001, \eta^2 = 0,25</math></b>	$F_{1,48} = 1,19, p = 0,28, \eta^2 = 0,02$
Position sur la voie	Moyenne	<b><math>F_{1,48} = 7,62, p = 0,008, \eta^2 = 0,14</math></b>	$F_{1,48} = 0,137, p = 0,71, \eta^2 = 0,003$	$F_{1,48} = 0,22, p = 0,64, \eta^2 = 0,005$
	Ecart-type	$F_{1,48} = 0,04, p = 0,85, \eta^2 = 0,001$	$F_{1,48} = 2,68, p = 0,11, \eta^2 = 0,05$	$F_{1,48} = 0,41, p = 0,52, \eta^2 = 0,009$
Angle du volant	Moyenne	$F_{1,48} = 0,10, p = 0,75, \eta^2 = 0,002$	<b><math>F_{1,48} = 6,85, p = 0,01, \eta^2 = 0,13</math></b>	$F_{1,48} = 2,43, p = 0,13, \eta^2 = 0,05$
	Ecart-type	<b><math>F_{1,48} = 6,36, p = 0,015, \eta^2 = 0,001</math></b>	$F_{1,48} = 2,46, p = 0,12, \eta^2 = 0,05$	<b><math>F_{1,48} = 4,94, p = 0,03, \eta^2 = 0,09</math></b>

Les valeurs en gras sont significatives. <sup>a</sup> (1) Sans tâche d'empan; (2) Avec tâche d'empan.

<sup>b</sup>Ajusté pour les comparaisons multiples avec correction de Bonferroni.

- La vitesse moyenne suite à la reprise en main et sa variabilité

Concernant la vitesse, nous observons une interaction groupe\*tâche significative : après la reprise en main, les personnes âgées conduisent plus vite suite à la phase de conduite autonome en présence de la tâche, par rapport à la phase de conduite autonome seule (pour les personnes âgées :  $Vitesse_{Avec} : 69,41 \pm 0,40$  km/h versus  $Vitesse_{Sans} : 68,75 \pm 0,46$  km/h,  $P = 0,01$ ) (Figure 12). Concernant la variabilité de la vitesse, elle est plus forte en condition « avec » qu'en condition « sans » quel que soit le groupe d'âge (Variabilité de la vitesse<sub>Avec</sub> :  $3,32 \pm 0,26$  km/h versus variabilité de la vitesse<sub>Sans</sub> :  $2,84 \pm 0,26$  km/h,  $P = 0,006$ ). Elle est également plus forte chez les personnes âgées que chez les personnes jeunes (Variabilité de la vitesse<sub>Agés</sub> :  $4,06 \pm 0,37$  km/h versus Variabilité de la vitesse<sub>Jeunes</sub> :  $2,10 \pm 0,31$  km/h,  $P < 0,001$ ).



\*  $P < 0,05$

Figure 12. Vitesse dans les deux groupes d'âge en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome

- La position latérale et sa variabilité

Nous avons montré un effet principal de la tâche sur la position latérale, similaire à ce que nous avons montré pendant la phase de reprise en main : quel que soit le groupe d'âge, les participants sont positionnés plus à gauche après la reprise à main suite à la phase de conduite autonome où il y a la présence de la tâche d'empan, comparativement à la phase de conduite autonome seule ( $Position_{Avec} : 7,32 \pm 0,05$  m versus  $Position_{Sans} : 7,50 \pm 0,02$  m,  $P = 0,008$ ). Aucun effet significatif n'est observé sur la variabilité de la position de la voie après la reprise en main.

- L'angle du volant et sa variabilité

Les personnes âgées ont un angle moyen du volant plus proche de 0 que celui des jeunes ( $AngleVolant_{Agés} : -0,04 \pm 0,005$  degré versus  $AngleVolant_{Jeunes} : -0,05 \pm 0,004$  degré,  $P = 0,01$ ). La variabilité au niveau de l'angle du volant est plus forte lors de la phase de conduite autonome en présence de la tâche d'empan que lorsqu'il n'y a pas de tâche d'empan ajoutée ( $p = 0.003$ ). De plus, les personnes âgées ont une plus forte variabilité au niveau de l'angle du volant que les jeunes après

la phase de reprise en main qui fait suite à une phase autonome où la tâche d'empan est présente ( $p = 0,03$ ).

#### *Tâche d'empan pendant la phase autonome*

Le nombre d'erreurs non corrigées à la tâche d'empan pendant la phase autonome n'est pas significativement différent entre les deux groupes (Erreurs non corrigées<sub>Agés</sub> :  $1,39 \pm 0,94$  vs Erreurs non corrigées<sub>Jeunes</sub> :  $1,22 \pm 1,26$ ,  $P = 0,20$ ).

## 7. Discussion

La discussion comporte deux parties. La première concerne les résultats à propos de l'acceptabilité et de l'acceptation d'un véhicule à délégation de conduite par les conducteurs âgés. La seconde rapporte les résultats sur les performances de reprise en main d'un véhicule par les conducteurs âgés en comparaison à celles de conducteurs plus jeunes.

Tout d'abord, il est à préciser que les participants âgés de cette étude obtiennent des scores cognitifs conformes à ceux que l'on observe habituellement dans la littérature pour cette classe d'âge et ce niveau d'étude. Les scores aux deux tests cognitifs (MOCA et TMT A et TMT B) sont significativement plus faibles chez les âgés que chez les jeunes (aussi habituel dans la littérature, cf. Loggia et al., 2020).

Une moitié des participants environ, qu'ils soient jeunes ou âgés, déclare être équipés d'un limiteur ou régulateur dans leur véhicule, un tiers déclare les utiliser. Par rapport aux plus jeunes, les participants âgés sont légèrement plus équipés et utilisent un peu plus ces systèmes (mais pas de manière significative). Ce résultat est étayé par les observations faites à propos du biais de sélection de la cohorte : ces conducteurs âgés sont d'un niveau socioéconomique plus élevé que la population générale. Le parc automobile a un âge moyen plus bas que dans la population moyenne nationale, il est de 6 ans dans la cohorte alors qu'il est estimé à 11,5 ans chez les personnes de 75 ans (EMP, 2019). L'échantillon de notre étude n'est donc pas tout à fait représentatif de la population âgée en matière d'équipements d'ADAS.

### 7.1 Une acceptabilité modulée par un besoin de confiance pour les conducteurs âgés

Bien que les conducteurs se déclarent équipés et utilisateurs des ADAS, le niveau de crainte lié à l'utilisation d'un véhicule automatisé est particulièrement élevé : 81% chez les âgés et 86% chez les jeunes. Ce niveau de crainte est beaucoup plus élevé que celui de la cohorte des 514 conducteurs âgés (62,4%). En conséquence, les attentes de la part des conducteurs âgés de notre échantillon ( $n=29$ ), en matière de formation pour l'utilisation d'un véhicule automatisé avant toute utilisation, sont très fortes, de l'ordre de 90% (49,2% dans la cohorte des conducteurs âgés) et moindre chez les plus jeunes (57%).

Dans l'une des deux expérimentations, nous avons cherché à étudier d'éventuels changements en termes d'acceptabilité à propos de la conduite automatisée chez des conducteurs âgés. Les participants devaient s'exprimer avant et après l'expérimentation sur le simulateur de conduite pour livrer leurs ressentis à partir d'une liste de paires d'adjectifs opposés, par ex, confiant – méfiant, sécuritaire-dangereux sur une échelle en 7 points. Les résultats montrent tout d'abord, qu'un plus grand nombre de ressentis évoluent vers une amélioration du jugement pour les jeunes conducteurs par rapport aux plus âgés, et cela après l'exposition à la conduite automatisée. Un gain important en termes de sécurité, de fiabilité et de confiance est perçu. Les participants jeunes jugent également la conduite automatisée plus agréable et meilleure après l'expérimentation, mais pas plus intéressante pour autant (seul item qui reste stable).

Pour les âgés, un seul item a évolué favorablement : la « confiance » qui est passé de 4,3 en moyenne à 5,6 après l'expérimentation. Quand on compare les ressentis exprimés *avant l'expérimentation* par les jeunes et par les plus âgés, ces derniers jugent plus favorablement les items « confortable », « attrayant », « utile ». Après l'expérimentation, les deux mêmes items « confortable » et « attrayant » sont toujours jugés plus favorablement par les conducteurs âgés, et l'aspect utilité est remplacé par l'aspect sécurité, comme si l'exposition à la conduite automatisée avait renforcé ce besoin de sécurité, chez les conducteurs âgés.

Comme la littérature l'a bien pointé, l'intention d'utilisation sera déterminée par le sentiment de confiance vis-à-vis du système (Molnar et al. 2018). Comme l'a montré Molnar et al. (2018), la confiance dans la conduite automatisée, du moins telle qu'elle a été rapportée après une expérience simulée avec le système autonome, était un élément important de l'acceptation de la technologie automatisée. Nous pensons aussi que ce sentiment de confiance pourra être différent selon les situations routières. Les questions adressées avant et après l'expérimentation ont permis d'identifier les situations pour lesquelles les personnes se sentaient le plus ou le moins en confiance et celles qui se modifiaient après l'exposition à une expérience de conduite automatisée. Les deux situations pour lesquelles le niveau de confiance est moindre, chez les jeunes, et ce, avant et après l'expérimentation, sont les zones résidentielles et les zones avec piétons (notées en dessous de 3). Pour les âgés, les zones résidentielles et les zones à fort trafic entraînent un moins grand sentiment de confiance. Ces zones, qui mêlent généralement plusieurs usagers sur la voie, dont des usagers vulnérables comme les piétons, exigent un contrôle attentionnel soutenu impliquant une prise en compte d'une multitude d'informations et générant des situations plus délicates.

Les changements en termes de gain de confiance entre avant et après l'expérimentation sont notables, dans le groupe des jeunes conducteurs, pour la conduite sur autoroute, sur une deux fois

deux voies, lors d'un dépassement et à vitesse à la fois modérée et élevée. Pour les âgés, un seul changement en termes de gain de confiance est observé pour la situation de « dépassement ».

Le nombre de reprises en main souhaité, qui peut être considéré comme un indicateur de confiance, n'a pas permis de distinguer significativement les deux groupes de participants. Molnar et al. (2018) avait montré que les jeunes conducteurs étaient plus susceptibles de prendre le contrôle du système automatisé que les conducteurs plus âgés.

Les interprétations de cette étude doivent rester prudentes car la simulation d'un véhicule automatisé reste un peu artificielle. Il est difficile d'apprécier réellement le comportement et les performances d'un tel véhicule qui n'existe pas encore. Le simulateur est composé d'une petite cabine avec trois écrans, un volant et un jeu de pédales et les scénarios de conduite sont assez sommaires. Malgré tout, il est intéressant de voir qu'une exposition à une expérience de conduite automatisée sur ce simulateur peut modifier la perception sur des critères de sécurité, confiance, et fiabilité. Cela montre qu'il est vraiment important de permettre aux futurs usagers de ces systèmes de se familiariser en amont. Ces expériences, si elles sont réussies, devraient faciliter l'intention d'utiliser un véhicule automatisé.

## 7.2 Les performances de reprise en main par les conducteurs âgés

L'objectif de la deuxième expérimentation sur simulateur était d'étudier les effets de l'âge sur la capacité de reprise en main, notamment lorsque celle-ci faisait suite à une phase de conduite autonome durant laquelle le participant était engagé dans une tâche non liée à la conduite. Les résultats montrent que les personnes âgées sont plus lentes que les jeunes à reprendre en main le véhicule, notamment lorsqu'ils sont engagés dans la tâche d'empan pendant la phase autonome. Les conducteurs âgés ont globalement des performances moyennes de reprise en main (vitesse, position, angle du volant) semblables à celles des jeunes suite à la phase autonome en présence de la tâche d'empan. En d'autres termes, la qualité de la reprise en main n'est pas plus affectée chez les conducteurs âgés par rapport aux jeunes lorsqu'ils sont tous fortement engagés dans une tâche d'empan pendant la phase autonome (lorsque la charge cognitive induite par la tâche est la même pour tous). Néanmoins, l'engagement dans la tâche d'empan pendant la conduite autonome perturbe la performance de conduite pendant et après la reprise en main, notamment chez les conducteurs âgés.

Les résultats ont montré que pendant la reprise en main, les personnes âgées ont une vitesse plus faible ( $\approx 3\text{km/h}$  de différence) que les jeunes. Ces résultats vont dans le sens de ceux observés dans les études antérieures qui montrent que les conducteurs âgés conduisent généralement plus

lentement que les plus jeunes pendant la phase de conduite manuelle (Clark et al., 2017; Clark & Feng, 2017; Favaro et al., 2019; Miller et al., 2016). Cela peut être expliqué par le fait que les personnes âgées compensent leur déclin cognitif en adaptant leur comportement de conduite. En réduisant leur vitesse de conduite, ils ont plus de temps pour traiter les autres informations et réagir aux événements inattendus. Ce type de comportement suggère que ces conducteurs sont généralement conscients de leurs propres difficultés.

Dans notre étude, les conducteurs âgés sont également positionnés plus à gauche et ont une plus forte variabilité au niveau de l'angle du volant que les jeunes. Après la reprise en main, leur vitesse de conduite a une plus forte variabilité que les jeunes. Cette variabilité observée suggère que les personnes âgées ont plus de difficultés que les jeunes à maintenir une position et une vitesse stable suite à la phase de conduite autonome.

Par rapport aux personnes jeunes, les personnes âgées sont plus lentes pour reprendre en main le véhicule (*i.e.* un temps de reprise en main plus long) lorsqu'elles sont engagées dans une tâche non liée à la conduite (*i.e.* tâche d'empan dans la présente étude) pendant la conduite autonome, ce qui est en accord avec la littérature (Li et al., 2018; Li et al., 2019a; Li et al., 2019b; Molnar et al., 2017; Wu et al., 2019). De plus, tous les conducteurs sont bien engagés dans la tâche d'empan lors de la conduite autonome. En effet, toutes les personnes déclarent avoir fourni un effort mental important pendant la tâche d'empan lors de la conduite autonome ( $M \pm SD : 7,00 \pm 2,35$ ) et le nombre d'erreurs non corrigées à la tâche d'empan pendant la phase autonome n'est pas différent entre les deux groupes d'âge. Les conducteurs âgés ont également un temps à la collision en moyenne plus court lorsqu'ils sont engagés dans la tâche d'empan pendant la phase autonome, ce qui signifie qu'ils ont du mal à anticiper l'obstacle. À l'inverse, les conducteurs jeunes anticipent plus lorsqu'ils doivent reprendre en main le véhicule suite à une phase autonome en présence de la tâche d'empan. De plus, les personnes âgées conduisent généralement plus vite après la reprise en main lorsqu'elles sont engagées dans la tâche d'empan pendant la conduite autonome, par rapport à la conduite autonome seule.

Il est intéressant de noter que la variabilité au niveau de la vitesse de conduite après la reprise en main est plus forte chez les personnes âgées par rapport aux jeunes mais aussi lorsque les conducteurs sont engagés dans la tâche d'empan pendant la conduite autonome. Cet indicateur semble donc refléter une plus forte difficulté pour les personnes âgées en général et une plus forte difficulté lorsque les personnes, quel que soit le groupe d'âge, sont engagées dans une autre tâche pendant la conduite autonome. Pour autant, lorsque la charge cognitive induite par la tâche non liée à la conduite est la même pour tous, les conducteurs âgés ont des performances moyennes de reprise en main

équivalentes à celles des conducteurs jeunes. En présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome, nous n'avons pas montré de différences significatives entre les deux groupes d'âge au niveau de la vitesse, position, angle du volant et leur variabilité pendant et après la reprise en main. Il est important de noter une plus forte variabilité dans les performances de reprise en main chez les conducteurs âgés.

### 7.3 Limites de l'étude

Nous avons fait le choix d'utiliser, comme tâche « non liée à la conduite » une tâche d'empan adaptée au niveau d'empan de chaque participant. Tous les participants étaient ainsi à un même niveau de difficulté dans la tâche non liée à la conduite, avec une charge cognitive comparable. Cela nous permettait d'étudier les répercussions d'une tâche exigeante d'un point de vue mental sur la reprise en main et sur la conduite après la reprise en main dans les deux groupes d'âge. Toutefois, nous n'avons pas laissé le choix de la tâche au participant et celle-ci ne reflète pas une tâche réelle que le participant pourrait faire dans le véhicule (ex : lire un magazine ou regarder un film sur une tablette). Il serait donc intéressant de poursuivre ces travaux avec l'utilisation de tâches se rapprochant plus de la réalité.

### 7.4 Perspectives de recherche

La revue de la littérature menée dans le cadre de ce projet sur la reprise en main chez les conducteurs âgés (Gasne et al., 2022) a montré que peu d'études ont examiné les effets, sur la performance de reprise en main, de la vitesse de conduite pendant la phase autonome, du type et de la durée d'intervalle de notification, et de la durée de la phase autonome. Les répercussions de ces différents facteurs sur la performance de reprise en main devront être plus largement explorées.

Dans cette étude, la reprise en main est imposée par le système suite à un événement inattendu. Nous n'avons pas étudié la reprise en main choisie par le participant. Il serait intéressant d'examiner le nombre de reprise en main réalisé par les conducteurs âgés par rapport à celui des conducteurs jeunes. Dans notre revue de littérature réalisée pour les besoins de ce projet (Gasne et al., 2022), seulement une des 14 études ont regardé, en plus de la performance de reprise en main, le nombre de participants qui intervenaient pour reprendre en main le véhicule (Mok et al., 2016). Le nombre de reprise en main peut être un indicateur de l'acceptation (Molnar, 2018) : plus les conducteurs reprennent en main le véhicule, moins ils font confiance au système automatisé. D'autres recherches devront examiner l'impact de l'acceptation, de l'expérience de conduite et de la confiance dans les nouvelles technologies sur le nombre de reprise en main et la performance de reprise en main chez les conducteurs âgés.

Dans le futur, il est possible que les évaluations de l'aptitude à la conduite dans les différents pays changent avec l'introduction des véhicules automatisés sur la route. Dans les études sélectionnées pour notre revue de littérature (Gasne et al., 2022), aucune n'a étudié les fonctions visuelles, cognitives et motrices qui sont nécessaires pour reprendre en main le contrôle du véhicule de manière sécuritaire. Des recherches futures devront également déterminer quels sont les tests neuropsychologiques qui prédisent au mieux la performance de reprise en main chez les conducteurs âgés.

A notre connaissance, il n'y a pas d'études sur le véhicule autonome qui a été menée avec des individus ayant des troubles cognitifs, physiques ou sensoriels. D'autres études devront déterminer dans quelle mesure l'automatisation de la conduite peut aider ces conducteurs à maintenir leur mobilité.

La plupart des études sur les conducteurs âgés ont été réalisées sur un simulateur de conduite. Bien que le simulateur de conduite permette d'être dans un environnement reproductible et contrôlé, il ne reflète pas la conduite en situation réelle. Il est possible que les performances de reprise en main pendant la conduite sur simulateur soient moins bonnes que celles réalisées pendant la conduite en situation réelle, surtout si les personnes ne sont pas familières avec la tâche non liée à la conduite. D'autres recherches devront aussi étudier les performances de reprise en main sur route réelle. En se basant sur les études sur simulateur de conduite, nous nous attendons à ce que, sur route réelle, la plupart des conducteurs âgés soient capables de reprendre en main le véhicule de manière sécuritaire et d'adapter leur comportement de conduite après la reprise en main, par exemple en réduisant leur vitesse de conduite. Une façon d'évaluer la performance de reprise en main chez les personnes âgées en situation réelle serait de les faire conduire sur une route fermée, comme par exemple, sur le site de Transpolis en France.

Enfin il sera intéressant de regarder ultérieurement comment se combinent les deux approches proposées, et d'analyser les participants de l'étude expérimentale selon l'acceptabilité définie dans l'étude épidémiologique. Ces analyses ultérieures consisteront à croiser les performances de reprise en main selon le profil de conducteurs : plutôt convaincus par la technologie du véhicule automatisé, plutôt hésitants, ou plutôt réfractaires et donc peu intéressés.

## 7.5 Conclusions

Les résultats issus de notre étude expérimentale permettent de dégager les recommandations suivantes :

Une exposition à une expérience de conduite automatisée sur un simulateur de conduite peut améliorer le sentiment de sécurité, confiance et fiabilité. Cela montre qu'il est vraiment important de permettre aux futurs usagers, qu'ils soient jeunes ou âgés, de se familiariser en amont avec ces systèmes. Le gain de confiance et l'acceptation dans le système sont d'autant plus importants que l'expérience est vécue favorablement.

En raison du ralentissement cognitif observé dans la population des personnes âgées, il est recommandé de concevoir un intervalle de notification suffisamment long ( $\approx 7$  secondes), pour que le conducteur ait le temps de traiter l'alerte et de réaliser la manœuvre de reprise en main dans des conditions sécuritaires.

Le fait de faire une tâche non liée à la conduite pendant la phase autonome peut retarder ou perturber la tâche de reprise en main du véhicule, notamment chez les conducteurs âgés. Il est donc recommandé que les personnes puissent avoir un niveau de contrôle suffisamment important pour pouvoir intervenir à la demande du système. Il reste difficile, dans l'immédiat, de se prononcer de manière consistante sur le type de tâches non liées à la conduite à éviter.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779.  
[https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8)
- Bellet, T., Paris, J.-C., & Marin-Lamellet, C. (2018). Difficulties experienced by older drivers during their regular driving and their expectations towards Advanced Driving Aid Systems and vehicle automation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 52, 138-163.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.11.014>
- Brutel, C. (2002). La population de la France métropolitaine en 2050 : Un vieillissement inéluctable. *Economie et Statistique*, 355(1), 57-71. <https://doi.org/10.3406/estat.2002.7374>
- Clark, H., & Feng, J. (2017). Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation. *Accident Analysis & Prevention*, 106, pp 468-479.
- Clark, H., McLaughlin, A. C., Williams, B., & Feng, J. (2017). Performance in takeover and characteristics of non-driving related tasks during highly automated driving in younger and older drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2017-October, 37-41.  
<https://doi.org/10.1177/1541931213601504>
- Dzindolet, M. T., Peterson, S. A., Pomranky, R. A., Pierce, L. G., & Beck, H. P. (2003). The role of trust in automation reliance. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(6), 697-718.  
[https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00038-7](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00038-7)
- Evans, L. (2000). Risks older drivers face themselves and threats they pose to other road users. *International Journal of Epidemiology*, 29(2), 315-322. <https://doi.org/10.1093/ije/29.2.315>
- Fancher, P., Ervin, R., Sayer, J., Hagan, M., Bogard, S., Mefford, M., & Haugen, J. (1998). *Intelligent cruise control field operational test*. United States. National Highway Traffic Administration.
- Favaro, F. M., Seewald, P., Scholtes, M., & Eurich, S. (2019). Quality of control takeover following disengagements in semi-automated vehicles. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 196-212. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.05.004>

- Freyssenet, M. (1992). Processus et formes sociales d'automatisation. Le paradigme sociologique. *Sociologie du travail*, 34(4), 469-496. <https://doi.org/10.3406/sotra.1992.2611>
- Gasne, C., Paire-Ficout, L., Bordel, S., Lafont, S., & Ranchet, M. (2022). Take-over performance of Older Drivers in Automated Driving : A Review. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour*.
- Harris, W. C., Hancock, P. A., Arthur, E., & Caird, J. K. (1995). Performance, Workload, And Fatigue Changes Associated with Automation. *International Journal of Aviation Psychology*, 169-185.
- Hassan, H. M., Ferguson, M. R., Razavi, S., & Vrkljan, B. (2019). Factors That Influence Older Canadians' Preferences for using Autonomous Vehicle Technology : A Structural Equation Analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673(1), 469-480. <https://doi.org/10.1177/0361198118822281>
- Körber, M., Gold, C., Lechner, D., & Bengler, K. (2016). The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 39, 19-32. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.03.002>
- Lansdown, T. C., & Fowkes, M. (1998). *An investigation into the utility of various metrics for the evaluation of driver information systems : Proceedings of the Sixth International Conference on Vision in Vehicles*.
- Lee, H. C., Cameron, D., & Lee, A. H. (2003). Assessing the driving performance of older adult drivers : On-road versus simulated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 797-803. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00083-0)
- Loggia, G., Attoh-Mensah, E., Pothier, K., Morello, R., Lescure, P., Bocca, M.-L., Marcelli, C., & Chavoix, C. (2020). Psychotropic Polypharmacy in Adults 55 Years or Older : A Risk for Impaired Global Cognition, Executive Function, and Mobility. *Frontiers in Pharmacology*, 10, 1659. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01659>

- Maltz, M., Sun, H., Wu, Q., & Mourant, R. (2004). In-Vehicle Alerting System for Older and Younger Drivers : Does Experience Count? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1899(1), 64-70. <https://doi.org/10.3141/1899-08>
- Miller, D., Johns, M., Ive, H. P., Gowda, N., Sirkin, D., Sibi, S., Mok, B., Aich, S., & Ju, W. (2016). *Exploring Transitional Automation with New and Old Drivers*. 2016-01-1442. <https://doi.org/10.4271/2016-01-1442>
- Mok, B., Johns, M., Gowda, N., Sibi, S., & Ju, W. (2016). Take the wheel : Effects of available modalities on driver intervention. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, 2016-August*, 1358-1365. <https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535567>
- Molnar, L. J., Ryan, L. H., Pradhan, A. K., Eby, D. W., St. Louis, R. M., & Zakrajsek, J. S. (2018). Understanding trust and acceptance of automated vehicles : An exploratory simulator study of transfer of control between automated and manual driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 319-328. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.004>
- Moray, N., Inagaki, T., & Itoh, M. (2000). Adaptive automation, trust, and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(1), 44-58. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.6.1.44>
- Muir, B. M. (1994). Trust in automation : Part I. Theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated systems. *Ergonomics*, 37(11), 1905-1922. <https://doi.org/10.1080/00140139408964957>
- Nielsen, J. (1994). Chapter 5 -Usability Heuristics. In *Usability Engineering* (p. 115-163). Academic Press.
- Parker, D., McDonald, L., Rabbitt, P., & Sutcliffe, P. (2000). Elderly drivers and their accidents : The Aging Driver Questionnaire. *Accident; Analysis and Prevention*, 32(6), 751-759. [https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(99\)00125-6](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(99)00125-6)
- Pauzie, A. (2016). *Les facteurs humains dans un contexte de véhicule automatisé. Association pour la promotion des technologies innovantes et futures*.

- Résultats détaillés de l'enquête mobilité des personnes.* (2019). Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/resultats-detailles-de-lenquete-mobilite-des-personnes-de-2019>
- Riley, V. (1989). A General Model of Mixed-Initiative Human-Machine Systems. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 33(2), 124-128. <https://doi.org/10.1177/154193128903300227>
- Saad, F., & Villame, T. (1999). Intégration d'un nouveau système d'assistance dans l'activité des conducteurs d'automobile. In *Sécurité et Cognition* (J.G. Ganascia, p. 105-114). Editions Hermès.
- Stanton, N. A., Young, M., & McCaulder, B. (1997). Drive-by-wire : The case of driver workload and reclaiming control with adaptive cruise control. *Safety Science*, 27(2), 149-159. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(97\)00054-4](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00054-4)
- Venkatesh, Morris, Davis, & Davis. (2003). User Acceptance of Information Technology : Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., & Ackerman, P. L. (2000). A Longitudinal Field Investigation of Gender Differences in Individual Technology Adoption Decision-Making Processes. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 83(1), 33-60. <https://doi.org/10.1006/obhd.2000.2896>
- Wu, Y., Kihara, K., Hasegawa, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M., & Kitazaki, S. (2020). Age-related differences in effects of non-driving related tasks on takeover performance in automated driving. *Journal of Safety Research*, 72, 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.019>