



**HAL**  
open science

# Education et objets innovants : études proactives des préconceptions des piétons, des décisions de traversée et des systèmes d'interaction des voitures autonomes

Emeline Ah-Tchine

## ► To cite this version:

Emeline Ah-Tchine. Education et objets innovants : études proactives des préconceptions des piétons, des décisions de traversée et des systèmes d'interaction des voitures autonomes. Education. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2020. Français. NNT : 2020GRALH019 . tel-03917126

**HAL Id: tel-03917126**

**<https://theses.hal.science/tel-03917126>**

Submitted on 1 Jan 2023

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

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

## THÈSE

Pour obtenir le grade de

### **DOCTEUR DE L'UNIVERSITE GRENOBLE ALPES**

Spécialité : Sciences de l'Education et de la Formation

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

**Emeline AH-TCHINE**

Thèse dirigée par **ERICA DE VRIES**, PR, Université Grenoble Alpes

préparée au sein du **Laboratoire de Recherche sur les Apprentissages en Contexte**  
dans l'**École Doctorale Sciences de l'Homme, du Politique et du Territoire**

**Education et objets innovants : Etudes proactives des préconceptions des piétons, des décisions de traversée et des systèmes d'interaction des voitures autonomes**

**Education and innovative objects: Proactive studies on preconceptions, road crossing decisions and interactive systems of autonomous cars**

Thèse soutenue publiquement le **15 décembre 2020**,  
devant le jury composé de :

**Madame Erica de VRIES**

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Grenoble Alpes, Directrice de thèse

**Madame Marie-Axelle GRANIE**

DIRECTRICE DE RECHERCHE, Université Gustave Eiffel, Rapporteuse

**Monsieur André TRICOT**

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Paul Valéry Montpellier 3, Rapporteur

**Madame Christine POPLIMONT**

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Aix Marseille, Présidente du jury

**Monsieur Pascal PANSU**

PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Grenoble Alpes, Examineur





Education et objets innovants : Etudes proactives des  
préconceptions des piétons, des décisions de traversée et des  
systèmes d'interaction des voitures autonomes

Thèse préparée au Laboratoire de Recherche sur les Apprentissages en Contexte et à

Ideas Laboratory



*« The science of today is the technology of tomorrow » - Edward Teller*



## Remerciements

La longue aventure de la thèse se termine mais c'est sans oublier les différents événements et personnes qui ont rendu cette aventure palpitante et agréable. Il y a tant de personnes qui ont contribué à ce que ces années soient formatrices et bénéfiques, je crois ne pas pouvoir être exhaustive.

Tout d'abord, je voudrais remercier ma directrice de thèse Erica de Vries pour cette collaboration très fructueuse. Merci de m'avoir encadrée et formée avec autant de rigueur et de persévérance (les dates butoirs n'ont qu'à bien se tenir), tout en n'oubliant pas de se féliciter même pour les petites victoires. Merci de m'avoir fait partager ton enthousiasme pour toutes les activités de la recherche et de m'avoir permis de les vivre, que ce soit pour des communications dans des colloques ou encore la joie d'avoir un article accepté pour publication. Merci également de m'avoir introduite à ton réseau de chercheurs internationaux et ce depuis le master !

Je voudrais remercier les membres de mon jury, Marie-Axelle Granié, André Tricot, Christine Poplimont et Pascal Pansu pour avoir accepté l'évaluation de mon travail et m'avoir donné l'opportunité de discuter de manière approfondie de mes travaux de recherche.

Mes travaux de thèse se sont effectués dans un laboratoire de recherche dynamique dans lequel j'ai pu participer aux différentes activités d'un apprenti enseignant chercheur. Je voudrais remercier les deux directeurs que j'ai connus, Philippe Dessus et Pascal Pansu. Merci d'avoir rendu possible mes participations aux colloques nationaux et internationaux, la mise en place de mes expérimentations et de m'avoir introduite à votre communauté de chercheurs. Je remercie tous les membres du LaRAC (ex LSE), pour les échanges, les conseils, les collaborations, les discussions. Merci à Laurent Lima de m'avoir aidée pour les statistiques, et de m'avoir fait confiance avec les nombreux cours au département des Sciences de l'éducation. Merci également à l'équipe pédagogique avec laquelle j'ai pu travailler, Erica de Vries, Vasiliki Markaki, Lucile Vadcard, Nadia Leroy, Laurent Lima, Cécile Nurra, Pierre Bataille, Benjamin

Le Hénaff et aux secrétaires de scolarité, Jessica Corona, Anne Koechlin, et Nora Woog. Merci à Natacha Boissicat de m'avoir permis de connaître l'expérimentation au sein des écoles primaire. Merci à Vasiliki Markaki et Philippe Dessus pour vos précieux conseils, votre bienveillance et vos encouragements lors des comités de thèse. Merci aux doctorants (et ceux devenus docteurs), post-doctorants, vacataires et ATER avec qui j'ai pu collaborer, partager nos peines et réussites et poursuivre nos travaux de recherche dans la bonne humeur de nos pauses méridiennes et les verres du soir : Olga K., Laurent B., Céline M., Marine H., Céline L., Jérémy P., Marlène B., Hoa N., Carole H., Elie R., Juliette D., Martin G., Ludivine J., Laurent L., Valentina G., Fernando N., Matthieu L., Marina T., Mathilde R., Manon C., Anne-Laure D., Anissa D., Isabelle S., Thierry S., Aline W., Elisa S., Benjamin L., Gwenola P., Sandrine A., Séverine G.,... Un clin d'œil spécial à mes collègues de bureaux Olga, Laurent et Carole, les tableaux blancs se souviendront de nos dessins thérapeutiques. Merci à mes deux relectrices de choc, Carole et Anne-Laure. Je remercie également Sandrine Lescure et Sanie Claraz pour avoir rendu les activités administratives plus simples et chaleureuses. Merci à Mustapha Rachdi pour m'avoir aidé à recruter des participants. Merci à l'équipe de l'UFR SHS et notamment Véronique Sulli. Merci à l'équipe d'INNOVACS pour le financement de mes recherches.

Je remercie l'équipe de l'HDC<sup>2</sup>P pour la qualification en équiva-thèse, les projets de recherche, les discussions de statistiques, les chocolats chauds et les jus de goyave.

Ma gratitude va également à toutes les personnes que j'ai pu côtoyer à Ideas Laboratory, merci à Michel Ida directeur des Open Labs et à Timothée Silvestre directeur d'Ideas Laboratory. Ce vivier de l'innovation m'a permis de faire le lien de mes travaux avec les besoins et questionnements industriels. Merci d'avoir financé et permis la mise en place de l'étude en réalité virtuelle. Merci à Théophile Ohlmann de m'avoir fait bénéficier de son expertise et de ses nombreux conseils. Merci à Lionel Poitureau de m'avoir intégrée au projet. Merci à Xavier Gauvin d'être toujours venu prendre de mes nouvelles et surtout pour la magnifique escapade improvisée entre collègues dans le Vercors. Merci à Magali Cros pour l'organisation et

l'animation des séances de créativité. Merci à Roger Pitiot pour le vivier de participants et le workshop à Archamps. Merci à Etienne, Frédérique, Darja, Marine, Gaël, Marie-Morgane, Marie, Mélissa, Nadège, Anne, Alain, Sébastien, Philippe, Patrick, Julien, les étudiants d'Alps Design lab,....

Merci à Gilles Desmoulins de Nemoïd pour la collaboration dans le développement de l'application en réalité virtuelle.

Un grand merci à tous les participants de mes études qui sont venus donner un peu de leur temps parfois sans aucune contrepartie.

Merci aux étudiants à qui j'ai pu enseigner et qui m'ont permis de me former et de me faire grandir dans mon rôle d'enseignante.

Merci à l'équipe de la BCG4, Pierre-Yves, Sandra, Florent, Loïs, Emmanuelle, Anne-Claire, Yann, Alexandre, Clothilde, Tony, Natalia et Céline pour le badminton dans une ambiance toujours joyeuse, votre présence, votre soutien, et pour avoir joué les piétons cobayes !

Merci aux membres bénévoles de l'association Prévention Maif pour m'avoir permis d'apprécier la mise en place de l'éducation à la sécurité routière dans le milieu scolaire, pour les contacts, les opportunités, les échanges et votre soutien.

Merci à mes amis qui de près ou de loin se sont intéressés à mes travaux de thèse.

Merci à Gérard et Béatrice pour votre présence, votre soutien, et surtout d'allumer le poêle quand il faisait froid. Merci aussi, avec Aurélien et Jérôme, d'avoir voulu expérimenter avec les voitures autonomes. Merci à Jérôme pour avoir motivé davantage de piétons.

Merci à mes très chers parents de toujours être à l'écoute, patients et de montrer un soutien infailible quel que soit le décalage horaire. Merci à Athéna de toujours être là quand j'en ai besoin où que tu sois dans le monde. Merci à Hervé de m'avoir fait profiter de ses compétences dans l'audiovisuel, d'être venu tester la réalité virtuelle et d'avoir posé comme piéton modèle.



Merci à vous de « sauter la mer » pour partager la fin de cette aventure et le début d'une autre à mes côtés.

Comment ne pas exprimer ma gratitude à celui qui me suit malgré les kilomètres, les grands-huit de la thèse et de la vie en s'assurant toujours que j'ai de quoi manger sainement le midi. C'est grâce à toi Raphaël, que j'y arrive jusqu'au bout sereinement.

Et enfin, je ne remercierai pas le coronavirus pour avoir restreint les conditions de cette fin de thèse.

*« Ah chemin Grand-Bois ça l'est long'. A tit pas tit pas n'arrivé. »*

## Résumé

Les curriculums scolaires sont constamment restructurés par l'apparition de sujets controversés dans la société. Ces sujets qui ne trouvent pas encore de réponses dans la recherche se rassemblent sous le couvert des « éducations à... ». Les questions socialement vives appartiennent à un champ de recherche qui permet la prise en compte de sujets candidats à l'intégration des « éducation à... ». La voiture autonome, un objet issu de l'innovation et non encore abouti fait partie de ces questions pour l'éducation à la sécurité routière. Avant sa mise en circulation, il est important d'étudier cette innovation selon tous ses aspects : des connaissances de l'objet aux comportements qu'il engendre. Quatre études empiriques ont été réalisées pour pouvoir apporter des connaissances sur les interactions avec cet objet. Dans une première étude, l'objectif était de pouvoir déterminer les préconceptions sur la nature et les fonctions de la voiture autonome. Cent quatre-vingt participants ont été recrutés pour répondre à un questionnaire composé de trois parties. Cinq profils ont été caractérisés et des préconisations ont été établies. Puis, dans une deuxième étude, l'objectif était de déterminer l'influence du type de voiture sur la décision de traversée et le sentiment de sécurité. Quarante-cinq participants ont visualisé trois environnements configurés selon des infrastructures routières pour les piétons (absence et présence de passages et de feux piétons). Les résultats montrent que la voiture autonome engendre moins de décisions de traversée. Une troisième étude avait pour but de concevoir des systèmes d'interaction de la voiture autonome lors de séances de créativité. Parmi les créations, deux systèmes ont été retenus, le premier informe le piéton à partir de la vitesse de la voiture, l'autre conseille le piéton avec l'affichage de feux piétons. Dans un deuxième temps, la compréhension de ces systèmes a été évaluée. Deux cents participants ont répondu à des questions ouvertes et des questions à choix multiples avec une présentation des systèmes sous forme d'images et de vidéos. Même si chacun des systèmes renseigne bien sur leur catégorie de message, le système qui informe obtient plus d'interprétations alternatives. De plus, le conseil permet davantage de prendre des décisions de traversée conforme au code de la route. Lors de la dernière étude, l'objectif était d'étudier les

décisions de traversée et le sentiment de sécurité face à des voitures autonomes équipées de systèmes d'interaction. Quatre-vingt-quatre participants ont parcouru un carrefour routier à quatre embranchements en réalité virtuelle. Les résultats montrent que l'affichage de feux piétons amène à des décisions de traversée plus prudentes en comparaison à l'affichage de la vitesse du véhicule. Chaque étude permet d'apporter un élément de caractérisation sur l'interaction entre piétons et voiture autonome avant sa mise en circulation. Les résultats de ces quatre études sont discutés, des implications théoriques et pratiques sont apportées.

Mots-clés : sécurité routière, piéton, voiture autonome, préconception, décision de traversée, compréhension.

## Abstract

Academic syllabi need to be constantly restructured to accommodate controversial topics emerging in everyday life. These subjects are gathered under the concept of “education of...”. Socially acute questions is a field of research which identifies potential subjects which may fit under the label of “education of...”. Regarding road safety education, the development of the autonomous car is appropriate to these socially acute questions. In order to consider this new object in road safety education and to provide recommendations, the objective of this thesis is to understand the interaction with this object and observe the behaviour towards the object. Four empirical studies took place in order to gain knowledge of the interaction with this object. In the first study, the objective was to explore the preconceptions on the nature and functionalities of the autonomous car. One hundred eighty participants were recruited to answer a three parts questionnaire. Five profiles were found and recommendations were given for each profile. In the second study, the goal was to study the influence of the type of car on road crossing decisions and the feeling of safety of pedestrians. Forty-five participants took part in a road crossing task composed of three street scenes with four configurations of pedestrian road infrastructures (zebra crossings and pedestrian traffic lights). Results showed a lower percentage of positive road crossing decisions in front of autonomous cars when taking into account trustworthiness. In a third study, in focus groups, the objective was to create interaction systems with autonomous car. Two systems were selected, the first informs pedestrians on the speed of the car and the latter gives advice to the pedestrian on appropriate behaviour using pedestrian traffic lights. We evaluated the comprehension of these interaction systems with 200 participants. The two systems were shown either as static pictures or as dynamic video clips, and comprehension was assessed with open-ended and multiple choice questions. Both systems purposefully conveyed the intended message, however the inform system led to more alternative explanations. The advice system is the most relevant for pedestrian rule compliance for road crossing decision. Then, in a last study, using virtual reality, 84 participants made road-crossing decisions in front of an autonomous car equipped with either an information, an

advice or no communication system. The advice system induced less road crossing decision especially when no zebra nor pedestrian light were available. Each study answer a specific question which allows us to characterize the interaction between pedestrians and autonomous car before its implementation. The results for each study is discussed and theoretical and practical implications are provided.

Keywords: road safety, pedestrian, autonomous car, preconception, road crossing decision, comprehension

# Table des matières

Chapitre 1	Introduction générale .....	11
1.1	Un des défis actuels des sciences de l'éducation .....	14
1.2	L'éducation à la sécurité routière en France .....	16
1.3	La Voiture Autonome, une innovation technologique et un objet d'étude .....	17
1.4	Le contexte d'Ideas laboratory .....	20
1.5	Plan de thèse.....	21
Chapitre 2	Etude des préconceptions de la voiture autonome en vue d'une éducation à la sécurité routière appropriée.....	24
2.1	Introduction .....	25
2.1.1	La voiture autonome : une question socialement vive ? .....	27
2.1.2	Selon les spécialistes, de quel type d'engin s'agit-il ?.....	28
2.1.3	Quelles préconceptions de la voiture autonome ?.....	34
2.2	Méthode.....	36
2.2.1	Echantillon .....	36
2.2.2	L'échelle sémantique différentielle.....	36
2.2.3	L'invite pour solliciter les préconceptions.....	37
2.2.4	Procédure .....	37
2.3	Résultats .....	38
2.3.1	Analyse factorielle exploratoire .....	38
2.3.2	Analyse hiérarchique de nuées dynamiques .....	40
2.4	Discussion .....	43
Chapitre 3	Investigating pedestrian road crossing decisions in front of autonomous cars in 360° pictures 46	
3.1	Introduction .....	46
3.1.1	The current study .....	49
3.2	Method .....	51
3.2.1	Experimental design.....	51
3.2.2	Road crossing decision task .....	51
3.2.3	Participants.....	52
3.2.4	Individual characteristics .....	52
3.2.5	Procedure .....	53
3.3	Results .....	53
3.3.1	Individual characteristics .....	54
3.3.2	Crossing decision as a function of car, likelihood and environment .....	55
3.3.3	Feeling of safety.....	56
3.4	Discussion .....	58
3.4.1	Future research.....	61
3.4.2	Practical implications.....	62
3.5	Conclusion.....	63
Chapitre 4	Conception et étude de systèmes d'interaction piétons-voitures autonomes.....	65
4.1	Introduction .....	65
4.2	Conception de systèmes d'interaction pour la voiture autonome .....	67
4.2.1	Méthode .....	69

4.2.2	Résultats .....	71
4.2.3	Conclusion .....	74
4.3	Etude de la compréhension des systèmes d'interaction .....	74
4.3.1	Méthode .....	76
4.3.2	Résultats .....	79
4.3.3	Conclusion .....	80
4.4	Conclusion générale .....	81
Chapitre 5 Inform or advice? A virtual reality study of message content for road crossing in front of autonomous cars .....		
		82
5.1	Introduction .....	83
5.1.1	Factors influencing road crossing decisions .....	84
5.1.2	Form and content of messages of the autonomous car .....	86
5.1.3	Using virtual reality in the study of road crossing decisions .....	88
5.1.4	The current study .....	89
5.2	Method .....	91
5.2.1	Design of message content in focus groups .....	91
5.2.2	Participants .....	92
5.2.3	Experimental design .....	93
5.2.4	Virtual reality apparatus and practice tasks .....	94
5.2.5	Procedure .....	95
5.3	Results .....	95
5.3.1	Pedestrian rule compliance in virtual reality .....	95
5.3.2	Road crossing as a function of type of car and message content .....	97
5.3.3	Feeling of safety .....	98
5.4	Discussion and conclusion .....	100
Chapitre 6 Discussion générale .....		
		106
6.1	Résultats principaux .....	107
6.2	Implications théoriques .....	109
6.3	Préconisations pratiques .....	111
6.4	Limites .....	112
6.5	Perspectives .....	113
6.6	Conclusion générale .....	114

## **Chapitre 1 Introduction générale**

*Dans ce chapitre, le sujet de la thèse est introduit à travers les nouvelles problématiques et défis en sciences de l'éducation : comment traiter les sujets et objets innovants qui ne font pas l'unanimité scientifique et sociétale ? Nous aborderons le cas de la voiture autonome dans l'éducation à la sécurité routière. Une présentation de l'objet d'étude est effectuée ainsi que le contexte de la thèse. Une description du plan de thèse clôture ce premier chapitre.*

Le monde d'aujourd'hui fait l'objet de constantes évolutions et de développements pour les objets et services du quotidien. Ces évolutions sont de plus en plus rapides et la société peine à s'adapter, à éduquer, à former et à légiférer en conséquence. Ce fut le cas de l'apparition des trottinettes électriques dont la législation a été mise en place bien après son usage sur les routes. La trottinette électrique est un nouveau mode de transport doux qui peut parfois aller plus vite qu'un vélo. Ce n'est qu'à partir de mai 2019, qu'une catégorie spécifique fut créée reconnue par le code de la route, la catégorie des engins de déplacement personnels (EDP). En tant qu'engin peu encombrant, il ne trouvait sa place ni sur la route ni sur le trottoir, et le code de la route rencontrait alors des limites afin d'assurer la sécurité des usagers de ce mode de transport et les autres usagers de l'espace routier. Plus récemment, l'obligation de port du masque n'a pas attendu des résultats probants sur son efficacité et la façon dont le coronavirus se transmet d'humain à humain pour être rendu obligatoire dans les espaces clos. Nombreux sont les sujets qui, présents dans l'actualité, font l'objet de débats. Même si la recherche scientifique n'a pas de réponse unanime, ils peuvent nécessiter d'être abordés en classe ou de faire l'objet de formation. Ces sujets touchent tous les domaines, ils concernent un large spectre allant des problématiques du développement durable, de la citoyenneté, de l'écologie, aux nouvelles technologies. Il serait difficile d'être exhaustif sur toutes ces thématiques qui se montrent de plus en plus nombreuses, spécifiques et importantes. Ce sont souvent des sujets qui appellent à développer une pensée critique ainsi que des comportements et attitudes



appropriés afin de prévenir les risques associés. L'éducation au développement durable appelle à connaître les spécificités des différents milieux afin de développer une conscience citoyenne et des comportements adaptés pour un développement durable. Ainsi, on peut se demander comment transmettre des savoirs et connaissances sur ces sujets s'il n'y a pas encore de preuve garantie par la science et la recherche ? Ces sujets font partie des questions socialement vives (QSV), un champ de recherche établi par Legardez & Simonneaux, (2006) pour les sciences de l'éducation. Ces QSV alimentent les « éducation à ». Les « éducation à » rassemblent un panel de sujets qui apparaissent comme des nouveaux objets d'enseignement dans une perspective d'adaptation au développement de la société (Audigier, 2012). L'éducation au développement durable est une vitrine des tensions suscitées (Audigier, 2015). Pour amener à une adoption de bonnes pratiques éco-citoyennes à l'égard de l'environnement, des questions se posent sur les différents mécanismes nécessaires en matière d'éducation et de formation (Legardez, 2016). Malgré des sujets controversés, il y a quand même une nécessité d'éducation. Il s'agit d'aborder avant tout une approche didactique, qui s'intéresse au contenu et aux informations nécessaires qu'il faut transmettre (Lange & Victor, 2006). La manière d'aborder et de résoudre la problématique de chaque « éducation à » est spécifique. Chaque sujet a ses propres enjeux dans la société et dans les sciences. Ces sujets impliquent différentes disciplines. Dans cette thèse, nous nous proposons d'étudier un cas de questions socialement vives, l'exemple de la voiture autonome pour l'éducation à la sécurité routière. Cet objet technologique issu de l'innovation et qui n'existe pas encore sous sa forme finale pose des nouvelles problématiques pour les domaines des « éducation à ». Son étude peut permettre d'alimenter le champ de recherche sur les questions socialement vives.

La voiture autonome transforme les habitudes de conduite, le partage de la route ainsi que les règles de sécurité routière. La voiture autonome n'est plus conduite par un chauffeur formé par les exigences du permis de conduire et du code de la route. Cette innovation fonctionne selon les technologies de l'intelligence artificielle dont le comportement est à programmer. Les usagers de la route ne se confronteront plus à un conducteur mais à une machine dotée de capteurs et qui répond à des algorithmes. C'est un sujet qui est largement médiatisé, il fait les

chroniques dans les journaux télévisés autant pour ses prouesses que pour des accidents graves. Les progrès sont impressionnants, faisant passer de la fiction à la réalité. Cependant, le développement technologique n'est pas encore abouti, de nombreuses questions éthiques sont en suspens et la législation n'en est encore qu'à ses débuts. La voiture autonome ne peut être tenue hors des curriculums particulièrement pour l'éducation à la sécurité routière. De plus, il est important d'étudier un objet avant sa généralisation. Ainsi, à travers les recherches sur les « éducation à... » et les questions socialement vives, il s'agit de déterminer comment faire pour appréhender le sujet de la voiture autonome dans l'éducation à la sécurité routière ? Quelle est la démarche de recherche appropriée ?

Les savoirs fondamentaux disposent d'une solide didactique pour toutes les disciplines faisant l'objet de curriculum scolaire. En effet, les matières comme les mathématiques, la physique ou les sciences de la vie et de la terre bénéficient de davantage de travaux didactiques. En ce qui concerne les thématiques nouvelles, le recul est moins important et les enjeux pour la société sont actuels. La difficulté réside dans la considération des « éducation à... » à se référer à une discipline existante. A quelle discipline des « éducation à... » se réfère-t-on et comment faire pour enseigner l'interaction avec les voitures autonomes ? On ne peut pas attendre comme pour la trottinette électrique de se rendre compte des éléments accidentogènes pour édifier des règles de sécurité et des comportements adaptés. Les réponses à ces questionnements nécessitent une démarche structurée, qui cependant ne peut être générale mais spécifique à notre objet d'étude qu'est la voiture autonome.

Le traitement de ce sujet peut se faire à différentes échelles. Ces questionnements appellent des recherches à des niveaux individuels ou collectifs, selon les différents statuts (élèves, enseignants, piétons, passagers, ...) et pour différentes finalités (de formation, de curriculum, de transmission, ...). Pour les travaux de cette thèse, nous avons choisi comme objet d'étude le piéton en interaction avec la voiture autonome. Le piéton est un usager vulnérable. De plus, faire l'usage de l'espace routier en tant que piéton est une situation qui

concerne tous les individus. Afin d'entamer nos recherches, nous voulons présenter une démarche séquencée.

### **1.1 Un des défis actuels des sciences de l'éducation**

Avec l'évolution de la société, on peut s'attendre à une évolution de l'école et aux savoirs qu'on y enseigne et aux connaissances qu'on y transmet. Il fut un temps où l'enseignement ménager y avait toute sa place (Lebeaume, 2014), aujourd'hui c'est une discipline qui n'est plus enseignée. Les finalités de l'école sont sans cesse discutées, le débat est toujours ouvert sur ce qu'on doit enseigner à l'école (Audigier, 2012). Les besoins, les questionnements et les débats d'ordre sociétal rentrent de plus en plus dans le domaine de l'école et de la formation. Le champ de recherche des « éducations à... » rassemble ces problématiques (Girault & Sauvé, 2008). En effet, il n'y a pas de réponse unanime à ce qui doit être enseigné, cela dépend des objectifs et la représentation de l'école correspondante. Audigier (2015) fait part de deux visions : enseigner que ce qui a été établi comme vrai opposé à une vision pragmatique anglo-saxonne où il s'agit d'enseigner ce qui va être utile à l'individu pour s'épanouir dans la société. Il y a en effet de nouvelles prérogatives pour les savoirs scolaires : il s'agit de « faire face à de nombreuses situations de vie (entreprendre, consommer...), à maîtriser de nouveaux objets (les médias, les technologies numériques...), à adopter de nouveaux comportements (santé, développement durable...), à adapter des anciens dont les contenus et les formes ont et/ou doivent changer (citoyenneté...) » (Audigier, 2012, p. 32). Dans la prise en compte des sujets d'« éducation à... », les centres d'intérêt se concentrent sur « une priorité à la formation de comportements et d'attitudes, à la transformation du sujet, et mettent en avant l'importance de l'expérience et du faire » (Audigier, 2012, p. 3). Cela amène à une certaine remise en cause des disciplinaires scolaires. On peut aborder ces « éducation à... » de plusieurs façons. On peut choisir de les intégrer dans les disciplinaires scolaires existantes, tel que par exemple le développement durable imbriqué dans l'enseignement des sciences de vie et de la terre. Et, au

contraire lorsqu'il n'y a plus de correspondance disciplinaire, il peut avoir des recompositions entre disciplines voir des pratiques pédagogiques originales (Audigier et al. 2015).

Un exemple phare des « éducations à... » est l'éducation au développement durable. Girault & Sauvé (2008) rendent compte des croisements, enjeux et mouvances, de l'enseignement d'une éducation relative à l'environnement. L'éducation à l'environnement a amené un flou curriculaire, se rattachant à la fois au domaine des sciences (étude des milieux), mais aussi à la géographie (localisation), et l'éducation civique (gestes citoyens). Parmi tous les enjeux listés par les auteurs, l'inclusion des « éducation à... » ne paraît pas simple et directe. En effet, ces enjeux concernent des niveaux paradigmatiques, épistémologiques, éthiques, politico-pédagogiques, didactiques, culturels et de formation des enseignants. Les « éducations à... » sont tiraillées entre les besoins sociétaux et les prescriptions gouvernementales, il est urgent de trouver des réponses et faire des préconisations.

Le concept de questions socialement vives développées par Legardez & Simonneaux (2006) est étroitement lié aux « éducations à... ». Les sujets qui font les « éducations à... » sont souvent des sujets qui ont un intérêt dans la société avec une dimension sociale et politique (Audigier, 2012) faisant l'objet de débats, ou qualifiés de chaudes ou controversées. Les questions socialement vives rejoignent les prérogatives posées par les « éducations à... ». Legardez & Simonneaux, (2006) considèrent trois conditions à ce qu'un sujet fait partie des questions socialement vives : il suscite des intérêts, débats et enjeux dans la société, il suscite des intérêts de recherche pour compléter les savoirs de référence, et enfin il pose des questions dans les savoirs scolaires. Le concept des QSV nous permet de remettre ces sujets problématiques en perspective et nous donne surtout un angle d'approche pour la recherche. Outre les différents enjeux posés par Girault & Sauvé (2008), il est intéressant pour les sciences de l'éducation de s'intéresser au processus de didactisation. Legardez (2017) émet des propositions d'étape de didactisation des QSV. L'étude des QSV peut se faire sous l'angle généraliste, sous l'angle scientifique, sous l'angle de l'éducation et de la formation et sous l'angle spécifique des processus d'enseignement-apprentissage. Nous situons nos travaux sous

l'angle généraliste dans une première étape. L'attention est mise sur les conceptions et les comportements au niveau sociétal dans le but de formuler des préconisations pour un futur enseignement. En effet, il n'y a pas de précédent en sciences de l'éducation sur l'étude de la voiture autonome en tant que QSV. Il est donc pertinent pour ces travaux de thèse de commencer à la première étape généraliste.

## **1.2 L'éducation à la sécurité routière en France**

Selon l'article L312-13 du code de l'éducation, l'enseignement du code de la route est obligatoire et intégré dans les enseignements des premiers et seconds degrés. L'éducation à la sécurité routière en France a un caractère interdisciplinaire et s'établit comme un continuum en s'adaptant aux différents états d'usage que l'élève est susceptible de faire de la route (piéton, passager, rouleur, conducteur) au fur et à mesure des années. L'objectif est de pouvoir développer des compétences (connaissances des règles de sécurité et du code de la route), mobiliser des capacités cognitives (anticiper, mémoriser, traiter et restituer l'information par le langage oral ou écrit, mener en parallèle plusieurs actions) et des savoir-être (être respectueux des autres usagers) (*Éducation à la sécurité routière - L'éducation à la sécurité routière à l'école - Éduscol*, s. d.). Dans les premiers cycles (du cycle 1 à 3, de la maternelle au primaire), l'élève est sensibilisé au partage de la route à travers divers enseignements certifiés par l'Attestation de Première Education à la Sécurité Routière (APER). L'APER se concentre sur le savoir être et le savoir-faire de l'enfant en tant que piéton et cycliste. Elle s'inscrit dans un projet d'établissement en lien avec un contexte. Ce contexte est défini par l'environnement dans lequel est situé l'établissement scolaire (rural ou urbain) mais également le vécu des élèves de l'établissement (alcool, drogues,...) (*Comment mener une action ? - Éducation et sensibilisation à la sécurité routière - Éduscol*, s. d.)). De plus pour chaque département, les écoles doivent se référer au Plan Départemental d'Actions de Sécurité Routière (P.D.A.S.R.). Ce plan définit des objectifs et des priorités locales en matière d'insécurité routière. Par exemple, il peut mettre la priorité sur les règles du code de la route

pour les cyclistes lorsque le nombre d'accidents avec des vélos est critique au niveau départemental. En ce qui concerne les cycles du collège et du lycée, l'article R211-1 du code de l'éducation établit la délivrance de deux attestations scolaires de sécurité routière certifiant des connaissances théoriques de règles de sécurité (ASSR 1 et 2). Ces attestations visent la responsabilité en tant qu'usager de la route de toute nature (piéton, cycliste, passager, futur conducteur). Ces deux attestations permettent d'accéder à la préparation du Brevet de Sécurité routière (BSR) nécessaire pour la conduite de cyclomoteur ou de voiturette ou encore de préparer la partie théorique du permis de conduire. L'éducation à la sécurité se construit dans des implications sociales et quotidiennes. Cet enseignement s'intègre dans les programmes scolaires. Le portail éducol nous donne de nombreux exemples : l'intégration aux programmes de sciences physiques pour la notion d'énergie cinétique, ou encore des sciences et vie de la terre pour les conséquences de l'alcool sur les facultés cognitives au volant. L'éducation à la sécurité routière en France est transdisciplinaire et son contenu est fortement guidé par les événements sociétaux de l'environnement proche des écoles. L'éducation à la sécurité routière fait l'objet de nombreux constats, enjeux et transformations (Poplimont, 2013) qui peuvent permettre d'alimenter la recherche sur les « éducation à... ». Avec l'arrivée de la voiture autonome, le curriculum de l'éducation à la sécurité routière déjà bien accordé avec les problématiques sociétales, pourra se confronter aux problématiques technologiques et alimenter le champ des questions socialement vives.

### **1.3 La Voiture Autonome, une innovation technologique et un objet d'étude**

En 2018, en France, selon les chiffres de l'Observatoire interministériel de la sécurité routière, on a dénombré pas moins de 471 piétons tués sur la route. 70% de ces accidents sont dus à des collisions avec des véhicules de tourisme. Avec 92% de part humaine dans la cause des accidents, un des principaux bénéfices de la voiture autonome (pouvoir drastiquement diminuer le nombre d'accidents) est annoncé comme une révolution technologique. Cependant, le développement d'une telle prouesse technologique est lent, car le droit à l'erreur sur les routes

n'est pas envisageable. Les constructeurs sont dans une course pour atteindre en premier une production viable, dont la date exacte de commercialisation reste inconnue. La voiture autonome fait l'objet de nombreuses couvertures médiatiques tant sur ses avancées que sur ses risques et ses essais parfois infructueux voire mortels. Ainsi, la voiture autonome est un sujet d'actualité, connu du grand public à différents niveaux de connaissance, d'autant plus que le développement de cette technologie n'est pas encore abouti. Les nombreuses questions encore en suspens concernent notamment l'adaptation de la voiture au comportement humain et la technologie utilisée de l'intelligence artificielle demande beaucoup de données, d'affinement et d'apprentissage par l'expérience. La voiture autonome sera au contact de divers usagers humains (chauffeur, piétons, cyclistes,...) dont le but est d'anticiper au mieux les comportements et ce dans un environnement routier complexe. Dans une telle interaction homme-machine, même si la machine se dit anticiper au mieux le comportement humain, il y a également une part importante d'acceptation à la fois à plus grande échelle et de manière pérenne en matière d'éducation. L'implémentation des voitures autonomes n'est pas seulement une prouesse technologique mais également un défi pour la recherche en sciences humaines.

La voiture autonome est un véhicule pour le transport de personnes et d'objets piloté par intelligence artificielle sans intervention humaine nécessaire. Il existe plusieurs niveaux d'autonomie définis par la *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA). Il y a cinq niveaux, allant d'un niveau d'autonomie nulle où un chauffeur humain est présent à un niveau d'autonomie totale. Dans cette classification, la voiture autonome se situe dans la continuité de la voiture traditionnelle. Cependant, la voiture autonome est dotée de nombreux capteurs (radar, lidar, caméra, GPS, accéléromètre, gyromètre, ...) pour la prise d'informations de l'environnement extérieur. Ces informations sont gérées grâce à la technologie de l'intelligence artificielle, avec la programmation de nombreux algorithmes pour chacune des situations rencontrées et des décisions à prendre en conséquence (Jo et al., 2014). Ainsi, même si l'usage de la voiture autonome est la même que la voiture traditionnelle, son fonctionnement est totalement différent. Le fonctionnement final et précis de la voiture autonome reste encore en développement. En effet, la programmation des algorithmes n'est pas arrêtée. D'une part,

on ne sait pas si cette programmation sera généralisée ou spécifique au constructeur automobile. D'autre part, cette programmation fait également l'objet de nombreuses discussions et de dilemme moraux. Bonnefon et al. (2016) nous fait part du dilemme semblable à celui du problème du trolley de Philippa Foot. En cas d'accident, la voiture autonome peut être amenée à choisir entre sacrifier ses passagers ou les piétons environnants. Ainsi, il est difficile de se fier à des caractéristiques comportementales finales de ce véhicule. On ne sait pas dans quelle mesure ces comportements seront semblables au comportement humain. De plus, l'incertitude demeure quant à la prédominance des règles du code de la route lors de situations pouvant exiger d'enfreindre les règles. L'apparence de la voiture autonome n'est pas encore établie. On peut donc se demander s'il sera possible de les distinguer de manière caractéristique. Devant cette équation à plusieurs inconnues, la voiture autonome au niveau d'autonomie le plus élevé est un objet prospectif. Ces interrogations encore en suspens freinent d'autant plus l'arrivée des voitures autonomes sur le domaine public que la législation s'adapte au fur et à mesure. Par exemple, la convention de Vienne est une loi qui exigeait un chauffeur au contrôle d'un véhicule ; cette loi a été révisée en 2016 pour pouvoir permettre le développement des véhicules autonomes. Même si le développement technologique et législatif n'est pas arrêté, cela fait de la voiture autonome un sujet de recherche particulier pour le domaine des sciences humaines et plus particulièrement pour les sciences de l'éducation.

Cette thèse cherche à réduire le flou autour de cet objet d'étude. La voiture autonome dans son état final n'existe pas encore, même si plusieurs niveaux d'autonomie sont admis. En effet, les implications selon les niveaux d'autonomie face aux usagers ne sont pas les mêmes. De plus, l'environnement et l'infrastructure routière future sont difficiles à prévoir. Ainsi, nous avons choisi de considérer un véhicule entièrement automatisé, sans aucune intervention humaine qui sera inséré dans l'environnement routier actuel sans changement d'infrastructure. La voiture autonome que nous considérons aura l'aspect général d'une voiture traditionnelle munie sur son toit de capteurs visibles de l'extérieur. Les choix que nous avons faits sur les spécificités du véhicule autonome devraient permettre de pouvoir établir des préconisations pour l'éducation à la sécurité routière.



## 1.4 Le contexte d'Ideas laboratory

Le projet de cette thèse est né de la collaboration entre l'Université Grenoble Alpes et Ideas Laboratory donnant lieu à une allocation doctorale de recherche. Ideas Laboratory est un laboratoire d'innovation ouverte (*Open lab*) qui rassemble des partenaires industriels, des centres de recherches, des collectivités territoriales, des écoles, des universités, et des associations désireuses de pouvoir innover par l'expérimentation collaborative. Ideas laboratory est une entité à l'image des *living labs*. Selon Dell'Era & Landoni (2014), les *living labs* sont décrits comme une méthodologie qui a pour but de créer des innovations avec l'implication d'utilisateurs avertis dans un environnement écologique. Pour se faire, plusieurs méthodologies sont utilisées telle que les questionnaires, les focus groupes, des tests d'usages, de l'observation in-situ, de la conception participative (*participatory design*), etc. La particularité de cette méthodologie est d'impliquer l'utilisateur dans le processus de création et d'innovation. De plus, les domaines de connaissances se veulent interdisciplinaires, appelant des travaux issus du design, des sciences humaines et sociales, des sciences appliquées, etc. (*Mission et valeurs*, 2016) pour répondre aux différentes problématiques. Ideas Laboratory dispose de plusieurs salles adaptées à la méthodologie des *living labs* localisées dans un bâtiment à proximité du CEA de Grenoble. Une salle dite « *smart room* » est aménagée avec des fauteuils et des poufs où les utilisateurs disposent de matériels tel que des tableaux blancs, du matériel informatique et de la papeterie. Une deuxième salle dite « *salle immersive* » est une salle modulable possédant des murs blancs permettant la projection à 180° d'infographies. Chaque projet mis en place suit un processus d'innovation global (*Méthodes*, 2016) en quatre étapes : exploration, conceptualisation, expérimentation et réalisation. De nombreux projets ont vu le jour tel que « La route solaire » pour la transition énergétique, « Cité 2030 » pour imaginer la ville du futur, ou encore « L'agriculture urbaine » au sujet de sa viabilité, de ses rendements et ses bénéfices.

Le projet qui concerne la voiture autonome s'inscrit dans une volonté de s'interroger sur le rapport entre la voiture autonome et son environnement extérieur. L'accent est mis sur le

rapport entre le véhicule, les humains extérieurs aux véhicules, et les piétons. Le questionnement se centre sur l'usage futur de l'espace routier et les changements amenés par le développement de la voiture autonome.

## **1.5 Plan de thèse**

Premièrement, il nous semble nécessaire de questionner les savoirs établis sur la voiture autonome. Il s'agit de déterminer comment est considéré cet objet dans la société ainsi que les questionnements associés à travers les préconceptions existantes. Une deuxième étape consiste à comprendre comment les préconceptions peuvent se traduire en termes de comportements et plus précisément pour des piétons dans leur décision de traversée. Puis dans une troisième étape, dans une démarche de création par l'utilisateur, il s'agit de déterminer des systèmes d'interaction entre la voiture autonome et le piéton. Par la suite, il s'agit d'évaluer la compréhension des systèmes créés. Puis, dans une dernière étape nous analyserons les comportements de piétons en présence de véhicules autonomes équipés de systèmes d'interaction dans un environnement utilisant la réalité virtuelle. Il s'agit en somme de faire une éducation c'est-à-dire « une éducation axée sur la façon dont nous fonctionnons et agissons collectivement et individuellement » (Simonneaux & Pouliot, 2017). L'enjeu didactique pour l'éducation à la sécurité routière est de pouvoir prendre en compte non seulement l'état des connaissances sur la voiture autonome, mais aussi le savoir à transmettre et les comportements à façonner.

Les quatre chapitres suivants rendent compte de la recherche empirique réalisée à travers quatre études expérimentales. Le deuxième chapitre correspond à l'étude des préconceptions de la voiture autonome. Le troisième chapitre présente une étude réalisée à partir de photographies en 360° sur la décision de traversée du piéton. Le quatrième chapitre rend compte de la conception et de l'analyse de la compréhension de système d'interaction de la voiture autonome. Le cinquième chapitre présente l'expérimentation réalisée en réalité virtuelle

avec des voitures autonomes communicantes. La thèse se termine par une discussion et une conclusion générale abordée lors du sixième et dernier chapitre.

Dans le deuxième chapitre intitulé « Etude des préconceptions de la voiture autonome en vue d'une éducation à la sécurité routière appropriée », une démarche d'étude de la voiture autonome en sciences de l'éducation est présentée en trois volets. La voiture autonome est un objet encore en voie de développement et dont le savoir savant n'est pas abouti, cela fait partie des questions scientifiquement socialement vives. Cependant, il s'agit de pouvoir déterminer ontologiquement des attributs de la voiture autonome afin de pouvoir anticiper les comportements qui en résultent. Ce chapitre fait l'objet d'un article publié dans la revue *Education et Didactique en français*.

Le troisième chapitre intitulé « Investigating pedestrian road crossing decisions in front of autonomous cars in 360° pictures » présente une étude empirique sur les facteurs influençant les comportements piétons en termes de décisions de traversée de rue. Les facteurs étudiés sont le type de voiture (conduit par l'humain ou autonome), la configuration de l'infrastructure routière à destination des piétons (présence et absence de passage et de feux piétons) et le type d'environnement urbain (voie principale, zone industrielle, zone résidentielle). Les scènes de rues sont présentées sur ordinateur avec des photographies panoramiques en 360°. Une mesure du sentiment de sécurité a également été établie. Les participants sont caractérisés par leur niveau de confiance envers la voiture autonome, leur niveau de perception de similarité entre la voiture autonome et le comportement d'un chauffeur idéal et leur niveau de connaissance sur le code de la route pour les piétons. Ce chapitre correspondant à un manuscrit prêt à être soumis dans une revue anglophone.

Le quatrième chapitre, intitulé « Conception et étude de systèmes d'interaction piétons-voitures autonomes », présente une démarche complète depuis la création de système d'interaction de la voiture autonome à l'étude de la compréhension de celui-ci. Dans un premier temps, dans l'environnement modulable des locaux d'Ideas Laboratory, des séances de créativité ont été mises en place dans l'objectif de créer un système d'interaction de la voiture

autonome. Deux systèmes d'interaction ont été créés à l'issue de trois séances. Un premier système informe le piéton avec la vitesse de la voiture et un deuxième système conseille avec des feux piétons. Dans un deuxième temps, une étude constitue l'analyse de la compréhension de ces systèmes à partir d'images statiques hors contexte et de vidéos avec contexte. Ce chapitre a fait l'objet d'une réponse à un appel à communication dans une conférence internationale francophone.

Dans le cinquième chapitre, « Inform or advice ? A virtual reality study of message content for road crossing in front of autonomous cars », les deux systèmes conçus et analysés lors de la précédente étude équipent les voitures autonomes. L'objectif de cette étude est d'analyser la décision de traversée des piétons et le sentiment de sécurité en prenant en compte cette fois-ci trois types de voitures autonomes comparés à une voiture conduite par un humain. La voiture autonome est soit dotée d'aucun système de communication, soit elle émet une information, soit un conseil. Un carrefour à quatre embranchements en réalité virtuelle a été développé. La configuration de l'infrastructure routière fait partie des variables indépendantes, et le niveau de confiance des participants envers la voiture autonome a été contrôlé. Ce chapitre a été accepté pour publication dans la revue *Le Travail Humain* et est écrit en anglais.

Le sixième chapitre reprend les principaux résultats des travaux réalisés dans le cadre de cette thèse. Des implications théoriques et pratiques ainsi que les limites de nos travaux sont discutées.

## Chapitre 2 Étude des préconceptions de la voiture autonome en vue d'une éducation à la sécurité routière appropriée<sup>1</sup>

*L'objectif de ce chapitre est de déterminer des profils de préconceptions de la voiture autonome. Il est important de caractériser le niveau de connaissance de la nature et des caractéristiques de la voiture autonome dans la société actuelle. Pour se faire, une étude empirique a été mise en place avec un questionnaire exploratoire en trois parties, une échelle sémantique différentielle, des questions sollicitant les préconceptions et une partie de questions démographiques. Cinq profils ont été mis en évidence, et des préconisations sont discutées pour chacun d'eux. Ce deuxième chapitre correspond à un article publié dans la revue Education et Didactique.*

**Résumé.** La voiture autonome a été longtemps idéalisée dans la fiction et pourrait demain exister de manière concrète. Cet article propose une étude préalable à l'introduction de la voiture autonome dans la circulation nécessitant des adaptations dans le code de la route et dans l'éducation à la sécurité routière. Dans cette démarche, nous tenons compte du fait qu'il s'agit d'une innovation technologique qui n'existe pas encore sous sa forme finale dans la vie de tous les jours. Nous étudions le cas de la voiture autonome à travers trois volets qui s'appuient sur des domaines de connaissances en sciences de l'éducation avec leurs méthodologies associées : les questions socialement vives, les capacités projetées de la voiture autonome telles que relevées dans les savoirs savants, et les profils de préconceptions rencontrés dans la société à l'heure d'aujourd'hui. L'étude empirique a permis de caractériser des profils de préconceptions qui permettront d'élaborer des préconisations pour une éducation à la sécurité routière.

**Mots-clés.** préconceptions, innovation, question socialement vive, éducation à la sécurité routière, voiture autonome

**Abstract.** The introduction of the autonomous car, innovation and technological achievement raises serious concerns regarding road safety education. Considering it as a socially acute question, we seek to deal with its specificity as training will precede the stabilization of expert knowledge. We propose an ontological classification based on artificial intelligence and explore preconceptions of the autonomous car. An empirical study revealed the presence of five preconception profiles which may be exploited to elaborate recommendations for designing road safety education.

**Keywords.** preconceptions, innovation, socially acute question, road safety education, autonomous car

---

<sup>1</sup> Ce chapitre fait l'objet d'un article publié dans Education et Didactique

Ah-tchine, É., & de Vries, E. (2019). Étude des préconceptions de la voiture autonome en vue d'une éducation à la sécurité routière appropriée. *Education didactique*, 13(3), 127-139.

## 2.1 Introduction

La sécurité routière fait partie des sujets importants dans l'enseignement. D'après l'article D312-43 du code de l'éducation, les établissements du premier et du second degré doivent assurer un enseignement des règles de sécurité routière transdisciplinaire appelant à « l'acquisition des élèves de la connaissance des règles de sécurité et des comportements adaptés qui en découlent » (Article D312-44). Les enseignants disposent de tableaux pédagogiques qui rassemblent les savoirs et savoir-faire avec des propositions de situations pédagogiques et des grilles d'évaluation associées. Les écoles maternelles et élémentaires délivrent une attestation de première éducation à la route (APER) suivis par les attestations scolaires de sécurité routière (ASSR) en classe de 5<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> au collège. Néanmoins, de même que la santé, l'environnement, ou le développement durable, la sécurité routière ne relève pas de « savoirs académiques neutres, dissociés de tous contextes » (Lange & Victor, 2006). Bien qu'il existe un programme, des ressources pédagogiques, des modalités d'évaluation, et des attestations de réussite, on ne peut véritablement parler de référent académique pour l'éducation à la sécurité tel que pour les disciplines scientifiques. Plus particulièrement, l'éducation à la sécurité routière doit continuellement s'adapter à l'évolution de l'environnement routier (Courteaud & Roux, 2013) et aux modifications du code de la route qui s'ensuivent. De nos jours, cette adaptation nécessite d'anticiper l'introduction de nouvelles technologies telle que la voiture autonome (Comité interministériel de la sécurité routière, 2018). Dans le contexte d'une protection renforcée des piétons (voir le décret n°2018-795, section 6, article 13), la question des connaissances indispensables pour interagir avec le véhicule autonome se pose pour tous les usagers de la route, pour les enfants comme pour les adultes. Or, les savoirs sur le véhicule autonome ne sont ni partagés dans la société, ni même stabilisés parmi les experts.

La voiture autonome est un moyen de transport qui s'affranchit de l'intervention humaine pendant la conduite, ses capacités sont modulées selon le niveau d'autonomie correspondant. En remplacement de la supervision humaine, la voiture autonome est dotée de nombreux

capteurs (radar, lidar, accéléromètre, gyromètre, ...) qui fournissent des informations sur l'environnement et l'état du trafic. Les données sont traitées par l'intelligence artificielle pour aboutir à une prise de décision en adéquation à une situation donnée. L'Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA) propose une classification officielle de l'automatisation des voitures allant du niveau 1, le conducteur est en total contrôle du véhicule, au niveau 5, le véhicule est en totale autonomie sans aucune intervention humaine même en cas de problème. Ainsi, l'autonomie des voitures se fait de manière graduelle, c'est-à-dire qu'une même voiture peut être à la fois conduite de manière traditionnelle avec chauffeur ou passer en mode automatique. Par conséquent, la convention de Vienne de 1968 exprimant la nécessité d'être maître de son véhicule a été récemment revue par la commission économique pour l'Europe des nations unies (UNECE). En effet, au regard des législations, tous les conducteurs doivent avoir reçu une formation certifiée au code de la route et à la conduite. Les particularités de la voiture autonome exigent ainsi une reconsidération du partage des responsabilités au niveau légal et par conséquent impliqueront tous les usagers de l'environnement routier.

Cet article propose une étude préalable à l'introduction de la voiture autonome dans la circulation et dans l'éducation à la sécurité routière. Dans cette démarche, nous devons tenir compte du fait qu'il s'agit d'une innovation technologique qui n'existe pas encore sous sa forme finale dans la vie de tous les jours. En effet, si la voiture autonome existe de manière conceptuelle, elle est peu tangible pour le grand public. Nous étudions le cas de la voiture autonome à travers trois volets qui s'appuient sur des domaines de connaissances en sciences de l'éducation avec leurs méthodologies associées : les questions socialement vives, les capacités projetées de la voiture autonome telles que relevées dans les savoirs savants, et les profils de préconceptions rencontrés dans la société à l'heure d'aujourd'hui.

### *2.1.1 La voiture autonome : une question socialement vive ?*

Les innovations technologiques font parties d'un champ disciplinaire où le savoir savant est en construction et n'a pas encore pu donner lieu au savoir enseigné (Alpe & Barthes, 2013). Ce fut le cas pour l'informatique lorsqu'elle n'était pas encore identifiée comme discipline scolaire et les savoirs essentiels à sa compréhension pas encore bien définis (Baron & Bruillard, 2001). Ainsi, la transposition didactique est moins aisée que pour des savoirs davantage établis (Chevallard, 1986). Or, dans le cas de la voiture autonome, on ne peut attendre la maturation des savoirs technologiques pour penser l'éducation. La formation de différents publics est nécessaire avant même l'émergence d'un consensus sur les phénomènes parmi les scientifiques et ingénieurs. Pour les nanotechnologies par exemple, la formation aux risques des nanoparticules sur le site Nanosmile (INSTN, n.d.) a été concomitante à la définition de ce qu'est une nanoparticule. Legardez & Simonneaux, (2006) parlent de questions socialement vives (QSV) ou même de questions scientifiquement socialement vives (QSSV) pour aborder ces problématiques spécifiques de contenus d'enseignement qui ne soient pas stabilisés et pour lesquelles se posent de nombreuses questions. Pour la voiture autonome, par exemple, est-ce qu'elle serait plus sûre qu'une voiture conduite par un humain ? Est-ce qu'elle s'affranchira des règles du code de la route lorsqu'une vie humaine est en jeu ? Ou encore à qui donnera-t-elle la priorité lorsque la situation mettra en jeu la vie à la fois des passagers de la voiture et des piétons extérieurs à la voiture ?

Dans certaines disciplines scolaires, les objets d'éducation sont considérés comme concepts sociaux non stabilisés (Lange & Victor, 2006) ou des questions socialement vives (Simonneaux, 2003). Pour Legardez, (2006), on peut considérer une question socialement vive de trois façons. Premièrement, elle peut être vive dans la société. En effet, l'introduction de la voiture autonome dans la circulation est considérée comme un enjeu par la société. Dans un traitement médiatique récent, on s'interroge sur des questions d'éthique et de responsabilité en cas d'accident. Ainsi, une bonne partie des citoyens, dont les acteurs scolaires, ont connaissance de la question. Ensuite, elle peut être vive dans les savoirs de référence à travers



des débats entre spécialistes des champs disciplinaires. Pour la voiture autonome, des controverses existent surtout sur ce qu'elle sera capable de faire et sur le degré de ressemblance d'une voiture autonome à une voiture traditionnelle conduite par un humain. Les limites et portées de l'intelligence artificielle en général sont au centre de ces débats. Enfin, toujours selon Legardez (2006), la question pourrait être vive dans les savoirs scolaires. Pour la voiture autonome, l'existence d'exemples déjà mythiques, tels que les voitures Google et Tesla, des documents abondants accessibles sur internet, des vidéos notamment, font que les élèves peuvent y être directement confrontés et sont ainsi susceptibles d'interroger leurs enseignants.

En effet, l'implémentation d'une technologie non aboutie ne pourra se faire sans une éducation aux nouveaux risques pour tous les usagers. Ainsi, comme l'indique Simonneaux (2003), face à des technosciences controversées, avec des savoirs socialement construits, il ne s'agit pas d'une transposition didactique de savoirs savants, mais d'un questionnement des connaissances et savoirs de base, qui comme les objets mêmes, sont soumis à des modifications dues aux innovations technologiques. Ils représentent un défi en ce que la conception d'une « éducation à... » requière de l'anticipation.

### *2.1.2 Selon les spécialistes, de quel type d'engin s'agit-il ?*

La voiture autonome évoque l'imaginaire autour des robots et de l'intelligence artificielle. L'intrusion de l'intelligence artificielle dans tous les domaines interroge aujourd'hui comme en témoignent de multiples dossiers dans la presse (par exemple « Au cœur de l'IA » dans Le Monde). La voiture autonome n'est pas conduite par une personne physique et humaine, le contrôle est sous l'égide d'un programme exécuté par une machine et s'appuie ainsi sur l'intelligence artificielle. Or, les avis sur les capacités réelles, actuelles ou futures, de ces objets du futur divergent même au sein de la communauté des experts (Hutson, 2017; Lawrence, 2017). Plus particulièrement, ces capacités sont implicitement ou explicitement comparées aux capacités d'un conducteur humain au volant d'une voiture traditionnelle. Une classification d'objets innovants n'est pas disponible aujourd'hui. En guise d'analyse a priori des savoirs

savants, nous posons cette question des différentes capacités avérées, supposées, ou projetées de la voiture autonome.

Aujourd'hui, il existe des prototypes fonctionnels de la voiture autonome grâce aux nombreux développeurs qui font la course au premier prototype viable (Google car, Mercedes F015, Navya Arma, ...). (Hussain & Zeadally, 2018), dans une récente revue, pointent les dernières avancées scientifiques et technologiques de la voiture autonome. Sur le plan technique, on distingue différentes capacités nécessaires pour la conduite en autonomie : la perception, la localisation, la planification, et le contrôle (Jo et al., 2014; Levinson et al., 2011). Des capteurs (lidars, radars, GPS, accéléromètres, gyroscopes, etc), des modules de traitement de l'information, et des effecteurs gèrent l'état de l'environnement proche et lointain, la navigation, la planification d'itinéraire, et le contrôle des manœuvres. Cependant, des avancées techniques sont nécessaires afin d'améliorer la finesse et la précision. Les capacités techniques incluent également la partie prise de décision qui s'appuie sur l'intelligence artificielle. La difficulté réside dans la programmation des algorithmes pour appréhender et prédire toutes les situations possibles et y associer une prise de décision adaptée, éthique et appropriée. De nombreuses recherches sont effectuées pour améliorer les performances de la voiture autonome et son implémentation chez le grand public (Bimbraw, 2015; Fagnant et Kockelman, 2015; Hashimoto et al., 2016; Jian et al., 2005; Jo et al., 2015; Millard-Ball, 2016; Payre et al., 2014). Hussain & Zeadally (2018) répertorient également les défis pour l'avenir. Outre sur le plan technique, les défis se situent sur le plan non-technique (confiance des consommateurs, coût, et les réactions du public par rapport aux accidents survenus et médiatisés récemment), sur le plan de la réglementation (quelles règles en cas d'accident impliquant un choix éthique (Coca-Vila, 2018; Fleetwood, 2017), et sur le plan social (l'acceptabilité aux yeux du grand public d'une voiture pouvant sacrifier ses passagers pour le bien-être de la société (Bonneton et al., 2016)). Sur tous ces plans, de nombreuses imprécisions restent en suspens remettant en cause la fiabilité et la faisabilité de l'engin.

Comme l'objet technologique n'existe pas encore sous sa forme finale, il est difficile de prévoir ses capacités et par conséquent les problèmes soulevés lors de son implémentation. Il s'agit ainsi de connaître et de tenir compte des capacités potentielles, au vu des progrès en intelligence artificielle, des différents modules, presque boîtes noires, qui permettront la ressemblance de la voiture autonome à une voiture traditionnelle avec un conducteur humain. Les informaticiens distinguent en effet différents paliers de fonctionnement intelligent de la part des machines :

- *Machines réactives.* Le type 1, selon Hintze, (2016), consiste en des machines réactives. Comme Deep Blue, le superordinateur IBM qui pouvait jouer aux échecs, à ce niveau, le système ne peut ni mémoriser, ni utiliser ses expériences pour prendre des décisions informées. En quelque sorte, en termes de la nature de l'intelligence, la machine n'est pas plus évoluée qu'une machine à laver avec des programmes de lavage préprogrammés ou un robot d'usine qui exécute des programmes ou qui peut éviter des obstacles.
- *Mémoire limitée.* Des machines de type 2 possèdent en plus des capacités limitées de mémoire. Hintz considère la voiture autonome de ce deuxième type. Elles captent la vitesse et la trajectoire d'autres voitures, les combinent avec des connaissances sur le marquage au sol, les feux de circulation, pour se diriger. Selon ce type, ces voitures peuvent s'appuyer sur des algorithmes sophistiqués d'apprentissage machine (*deep learning*) pour identifier des objets. Par exemple, est-ce qu'un objet mouvant identifié est un autre véhicule, un piéton, une bicyclette, un animal ? Alimenté par de nombreuses images, un tel algorithme examine une scène et devine le type d'objet. La plupart de ses suppositions initiales seront fausses et l'algorithme modifie les paramètres internes ou des parties de sa structure en fonction des erreurs initiales et essaie à nouveau. Ce processus se poursuit et consiste à rejeter les modifications qui réduisent la précision de l'algorithme et à conserver les modifications qui augmentent la précision jusqu'à classer correctement toutes les images. Ensuite, de nouvelles images sont présentées à

l'algorithme qui les classera avec une grande précision. À ce moment-là, on dit que l'algorithme a « appris ». Le récent accident mortel entre un piéton et une voiture autonome à Tempe en Arizona, est un exemple de l'échec de l'algorithme n'ayant pas su correctement identifier le piéton présent sur la chaussée.

- *Théorie de l'esprit.* Les machines de type 3 intègrent une théorie de l'esprit. En effet, un conducteur humain observe et raisonne sur le comportement d'autres humains. Au centre du débat aujourd'hui est de savoir s'il est possible de construire une machine qui peut s'appuyer sur le comportement d'autrui et selon les experts, les machines d'aujourd'hui n'en sont pas capables. La part de la conduite qui concerne l'interprétation des comportements des autres utilisateurs de la route et la communication n'est pas intégrée. Ainsi, si l'on admet que les algorithmes « apprennent » dans une certaine mesure (type 2), la voiture autonome ne peut apprendre à partir de toutes les expériences comme le font les humains.
- *Conscience de soi.* Enfin, des machines de type 4 seraient des machines possédant la réflexivité ou la conscience de soi. L'humain possède cette qualité en ce qu'il peut s'observer lui-même et raisonner sur ses propres états, processus, décisions et phénomènes. Il peut analyser qu'il a eu un comportement – freiner, klaxonner, accélérer – parce qu'il a eu une émotion – peur, colère, frustration – et s'appuyer sur ces observations pour interpréter le comportement d'autrui à l'avenir.

La classification de Hintz a l'avantage de rendre la comparaison avec l'humain explicite en ce que l'intelligence artificielle sait faire et ne pas faire aujourd'hui. Des débats existent au sein des spécialistes à la fois au sujet des capacités nécessaires et suffisantes pour introduire la voiture autonome dans la circulation et au sujet des garanties de pouvoir produire ces capacités à l'avenir. Sur ce dernier sujet, certains pointent l'existence de différentes « familles » plus ou moins confiantes, sceptiques, ou même hostiles au développement des capacités des machines (Cassini, Piquard, & Larousserie, 2017).

Les capacités attribuées aux objets pourront avoir des conséquences importantes pour les comportements adoptés. Par ailleurs, elles peuvent être à l'origine de malentendus entre différents acteurs. Dans le courant de recherche sur le changement conceptuel, ce type de problème a été théorisé comme un problème d'attribution divergente d'un concept à une catégorie d'objets. Plus précisément, le problème de l'attribution erronée d'un concept à une catégorie a été décrit par Chi et al., (1994). Ces auteurs formalisent la compréhension de concepts par leur classification dans une arborescence de catégories ontologiques déterminés par trois suppositions épistémologique, métaphysique et psychologique. L'ontologie a trait aux catégories de l'existence, à l'idée que l'on se fait des différentes sortes de choses qui existent. La supposition épistémologique considère que l'on peut catégoriser les entités du monde qui nous entoure suivant trois catégories ontologiques primaires : la matière, les processus et les états mentaux (voir Figure 1). Ces catégories se décomposent par sous-catégories hiérarchiques définis par des attributs ontologiques tels que « a lieu » pour la catégorie processus, ou encore « peut se réparer » pour la catégorie artéfact. Ainsi, les catégories d'un arbre ontologique se différencient par le fait qu'elles ne partagent pas les mêmes attributs ontologiques. Selon Chi, Slotta & de Leeuw (1994), certaines difficultés dans l'apprentissage proviennent de l'incompatibilité entre la catégorie ontologique adoptée par les élèves et celle à laquelle un certain concept appartient pour les scientifiques. En effet, leurs travaux focalisent sur l'apprentissage des sciences. Les concepts scientifiques appartiennent souvent à la catégorie « interaction contrainte » dans la branche « processus ». Les conceptions alternatives, initiales, naïves ou erronées attribuent souvent ces concepts, comme la lumière, la chaleur, l'électricité, ou la force, à la catégorie « liquide » ou « solide » dans la branche « matière ». La compréhension d'un concept n'est possible que si l'individu "subi" une modification conceptuelle, un changement de catégorie. Cette modification peut être assez soudaine, du type « *aha erlebnis* » (voir aussi Lautrey (2008)).

L'arborescence ontologique présentée n'est qu'un exemple et ses catégories ne sont pas exhaustifs. Elles sont heuristiques dans notre compréhension des difficultés dans les apprentissages de la physique. Nous proposons de théoriser les potentiels malentendus au sujet

d'objets innovants, comme la voiture autonome, par le développement de la catégorie « artéfact » (ellipses blanches dans la Figure 1) en nous fondant sur la typologie de Hintz. Cette catégorie « artéfact », délaissée par manque de pertinence pour l'apprentissage de la physique, se trouve au centre de la problématique des objets dits « intelligents ». Premièrement, on peut donc diviser les artéfacts en objets traditionnels sans intelligence artificielle – lampe, porte, stylo – et les objets programmés divisés eux-mêmes en quatre catégories selon les quatre types de Hintz.

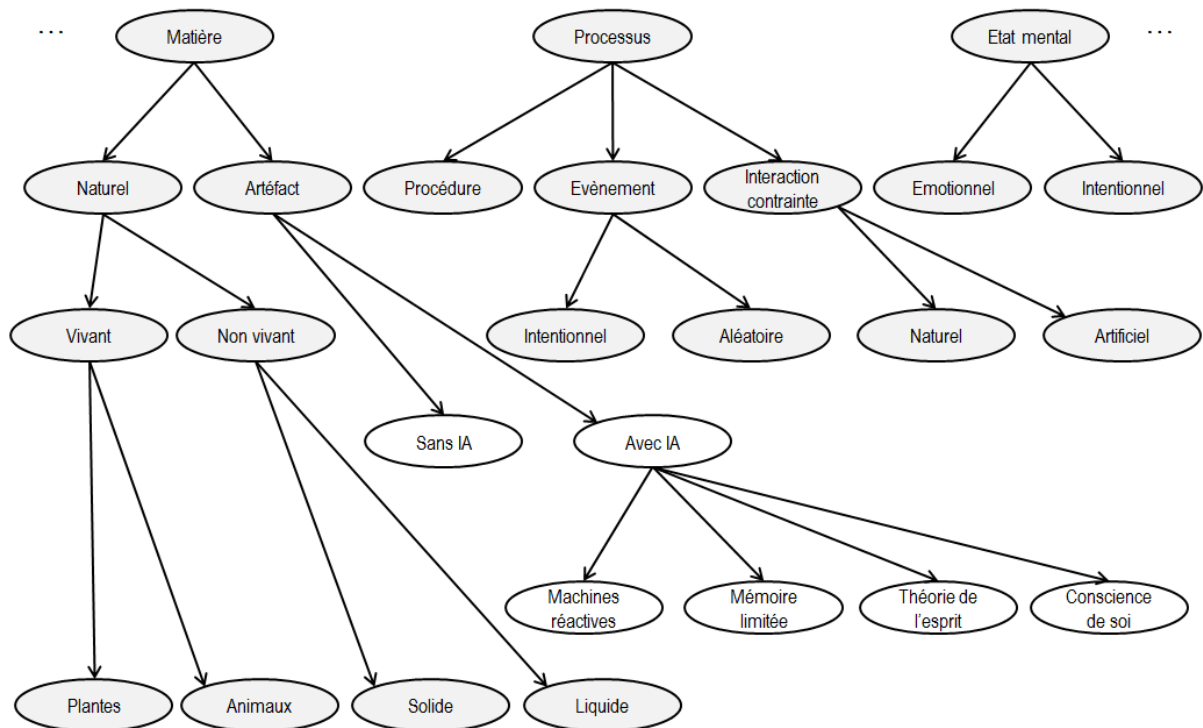


Figure 1. L'arborescence ontologique étendue intégrant le développement de la catégorie « artéfact ». Les ellipses grisées figurent dans l'original de Chi, Slotta & de Leeuw (1994), les ellipses blanches constituent notre ajout.

Notons que cette proposition peut être à l'origine de débats. Par exemple, une machine à laver, même avec des programmes pré-réglés, peut être classée dans la catégorie « sans IA ». Or, aujourd'hui les fabricants vantent les mérites des lave-linges intelligents qui, équipés de capteurs, ajustent automatiquement la consommation d'eau, la température de lavage, la vitesse d'essorage, la durée du cycle et le nombre de rinçages, en fonction du poids du linge et de son degré de salissure. Les machines à laver pourraient ainsi être classées comme intelligentes au

premier palier, celui des « machines réactives ». Cet exemple montre le décalage entre les savoirs savants chez les ingénieurs et constructeurs et l'état des connaissances chez le grand public. Notre proposition d'une arborescence ontologique étendue est une première approximation pour pouvoir explorer les préconceptions potentielles de la voiture autonome.

### *2.1.3 Quelles préconceptions de la voiture autonome ?*

Pour la voiture autonome, ou le prototype le plus achevé, il n'existe pour l'instant aucun objet du quotidien avec des capacités comparables opérant dans un environnement ouvert et non contraint. Cependant, on pourrait s'appuyer sur des objets dont le fonctionnement est similaire comme les lignes de métro automatiques ou les robots ménagers, par exemple un robot de piscine. Or, la voiture autonome a un référent connu : la voiture traditionnelle. La différence majeure entre les deux est l'absence de chauffeur humain à qui on peut attribuer le contrôle de la voiture. En effet, dans la pratique, la communication entre le chauffeur humain et le piéton est un élément important pour la sécurité, par exemple dans la décision de traversée. On peut se poser la question des effets et des conséquences de l'absence de chauffeur (Brémond et al., 2012; Kaparias et al., 2012). Une traversée s'effectue selon des indices : une voiture qui décélère et un conducteur qui établit un contact visuel, qui acquiesce la présence d'un piéton, sont des indicateurs de moindre risque de collision. La voiture traditionnelle avec chauffeur est ainsi la référence et influencera la conception initiale qu'ont les piétons de la voiture autonome.

Le cas de la voiture autonome s'apparente ainsi à l'apprentissage de la physique lorsqu'il y a une similarité, mais en même temps une différence essentielle, entre deux concepts. Vosniadou & Brewer, (1994) considèrent que les conceptions se construisent à partir de présuppositions innées ou acquises par la culture et les observations du monde extérieur. Ainsi, Vosniadou et Brewer considèrent le changement conceptuel comme un processus graduel de révision, de suppression, d'addition ou de suspension de ces présuppositions, modèles mentaux et croyances. Par exemple, Vosniadou & Brewer, (1992) répertorient différents modèles mentaux de la forme de la terre chez des enfants en école élémentaire (voir aussi Lautrey,

2008). Les élèves évoluent d'un modèle initial, une terre plate, vers un modèle scientifique, de type globe, en passant par des modèles synthétiques. Ces modèles synthétiques sont des tentatives de conciliation entre les présuppositions des élèves et le modèle reconnu scientifiquement. Ainsi, les auteurs ont pu découvrir des modèles de type globe creux avec un sol dur à l'intérieur ; une combinaison de l'observation d'un monde plat avec la reconnaissance scientifique d'un monde globe sphérique. En résumé, les conceptions initiales, d'après ces travaux et ceux de Chi (1994, 2013) sont *homogènes* chez différentes catégories d'individus, *robustes*, c'est-à-dire que les individus y tiennent fermement, *cohérentes* à travers le temps et dans des situations variées, *persistantes* à travers les niveaux scolaires et les âges, *systématiques* en qu'elles forment une théorie cohérente, et *récapitulatives* de l'histoire des sciences.

L'objectif de l'étude empirique est d'explorer les préconceptions de la voiture autonome dans la société à l'heure actuelle. Selon les études des attentes des usagers (Kyriakidis et al., 2015; Miller et al., 2016; Verberne et al., 2012), la question de la sécurité et de la confiance dans la voiture autonome pourrait être prédominante. Plus précisément, deux tonalités sont attendues caractérisées soit par la ressemblance à l'humain et ainsi une confiance dans le respect du code de la route, soit au contraire par la différence par rapport à l'humain et ainsi une méfiance des véhicules conduits par une machine. Nous explorons la présence de ces deux attitudes au moyen d'une analyse factorielle exploratoire sur une échelle sémantique différentielle soumise à des étudiants en licence de sciences humaines et sociales. Par ailleurs, nous explorons l'existence de profils distincts par le biais d'une analyse hiérarchique de nuées dynamiques sur le contenu des réponses à une question ouverte posée au même public. Nous aboutirons ainsi à un relevé des profils essentiellement différents présents dans la société. En effet, les caractéristiques des préconceptions initiales relevées dans la littérature (homogénéité, persistance) permettent de faire l'hypothèse que ces mêmes profils existeraient chez un public plus jeune.



## 2.2 Méthode

Nous avons élaboré un questionnaire exploratoire composé de trois parties : une échelle sémantique différentielle, des questions sollicitant les préconceptions et une partie générale sur la démographie, avec notamment la connaissance du code de la route et l'obtention du permis de conduire.

### 2.2.1 *Echantillon*

180 étudiants de licence en sciences humaines et sociales d'une université française ont été recrutés pour l'étude. Cet échantillon se compose de 14% d'hommes pour une moyenne d'âge de 20 ans et un écart-type de 3,2 ans. 83,3% des participants ont obtenu le code de la route et 74,4% ont obtenu le permis B.

### 2.2.2 *L'échelle sémantique différentielle*

L'échelle sémantique différentielle a pour but de mesurer les attitudes et a été développé par Osgood en 1964. Elle consiste en une échelle d'items avec à chaque extrémité des adjectifs contraires représentant des dimensionnalités du concept étudié en termes d'intensité et de direction (Johnson, 2012). Cet outil a été repris et utilisé pour connaître les attitudes sur les nouvelles technologies (Ajani & Stork, 2013; Johnson, 2012). Pour la construction de notre échelle, nous avons choisi des adjectifs caractérisant les qualités d'un chauffeur humain et des caractéristiques technologiques d'une voiture, comme par exemple « respectueuse » et « connectée ». L'échelle sémantique différentielle proposée est constituée de 11 items de cinq points (Tableau 1).

Tableau 1. Echelle sémantique différentielle

Intelligente	1	2	3	4	5	Sans intelligence
Responsable	1	2	3	4	5	Irresponsable
Connectée	1	2	3	4	5	Déconnectée
Compétente	1	2	3	4	5	Incompétente
Informée	1	2	3	4	5	Ignorante
Respectueuse	1	2	3	4	5	Irrespectueuse
Inoffensive	1	2	3	4	5	Dangereuse
Rapide	1	2	3	4	5	Lente
Manuelle	1	2	3	4	5	Automatique
Machine	1	2	3	4	5	Humaine
Sensible	1	2	3	4	5	Insensible

### 2.2.3 *L'invite pour solliciter les préconceptions*

Le questionnaire contenait deux questions pour solliciter les préconceptions. La première question est une question de contrôle pour déterminer l'expérience préalable avec la voiture autonome : « Je n'en n'ai jamais entendu parler », « J'ai une vague idée de ce que ça peut être », « Je sais de quoi il s'agit », « Je m'y intéresse », « J'en ai déjà vu/essayé ». La seconde question est ouverte et invite les participants à donner leur conception initiale de la voiture autonome.

---

« Dans cette étude, nous nous intéressons à la voiture autonome, cette nouvelle technologie pas encore sur le marché, va bientôt pouvoir être commercialisée et faire partie de notre quotidien. C'est justement le sujet de conversation du jour avec vos ami(e)s, l'inévitable question « mais qu'est-ce qu'une voiture autonome ? » est alors posée. Vous vous proposez volontaire pour présenter la voiture autonome en quelques mots. Veuillez retranscrire ci-dessus vos explications. »

---

Cette question ouverte n'impose pas de cadre. Les participants, avec leurs propres mots, choisissent de mettre en valeur la nature de la voiture autonome, ses caractéristiques fonctionnelles, son usage ou encore des comparaisons possibles avec la voiture traditionnelle.

### 2.2.4 *Procédure*

Le questionnaire a été présenté et soumis à des étudiants en amphithéâtre. La participation volontaire et anonyme des étudiants s'est déroulée avant le début d'un cours avec l'autorisation

de l'enseignant. La passation a duré 10 minutes au bout desquelles les questionnaires ont été récupéré et les participants remerciés.

## 2.3 Résultats

Dans notre échantillon, on observe 11.1% des participants indiquant n'avoir jamais entendu parler de la voiture autonome. Par contre 59.4% des participants ont indiqué en avoir une vague idée et 25.6% assure savoir de quoi il s'agit, avec 3.9% démontrant un grand intérêt sur le sujet. Ces résultats nous confortent dans l'idée qu'il s'agit d'un public avec de véritables conceptions initiales.

### 2.3.1 Analyse factorielle exploratoire

L'analyse factorielle exploratoire (AFC) permet de découvrir la structure sous-jacente à un ensemble de variables. Le Tableau 2 montre moyennes et écart types, ainsi que les résultats de l'analyse factorielle exploratoire sur l'échelle sémantique différentielle. L'indicateur du Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) mesurant l'adéquation de l'échantillon et l'interdépendance des variables (pas trop de corrélation entre elles) témoigne d'une valeur acceptable,  $KMO = .76$ .

Trois items – manuelle-automatique, machine-humaine, et sensible-insensible – ne distinguent pas suffisamment entre individus et sont exclus de l'analyse. Par rapport à ces items, les moyennes dans le Tableau 2 montrent que la voiture autonome est considérée plutôt machine, automatique, et insensible.

Dans le cas de la voiture autonome, l'AFC réduit les 11 items de l'échelle sémantique différentielle à un couple de facteurs orthogonaux. Les deux facteurs ayant une valeur Eigen de plus de 1 (critère de Kaiser) expliquent plus de 53% de la variance dans les items. L'interprétation des deux facteurs sous-jacents aux attitudes doit s'appuyer sur les coefficients de saturation les plus élevés (en gras dans le Tableau 2).

Le facteur 1 est composé des items ayant trait au caractère responsable, inoffensif, respectueux, intelligent et compétent de la voiture autonome. Ce facteur 1 semble ainsi incarner une forme de *bienveillance* attribuée à l'objet, comme si le respect et la responsabilité que l'on attribue aux conducteurs humains pouvaient être programmés dans la voiture autonome.

Tableau 2. Analyse factorielle exploratoire après rotation varimax (coefficients de saturation supérieurs à .35 apparaissent en gras)

Items	Moyenne	St. Dev.	Facteur 1	Facteur 2
Responsable – Irresponsable	2.87	1.08	<b>.73</b>	.20
Inoffensive – Dangereuse	3.59	.97	<b>.60</b>	.18
Respectueuse – Irrespectueuse	2.64	.92	<b>.59</b>	-.01
Compétente – Incompétente	2.39	.87	<b>.38</b>	<b>.65</b>
Informée – Ignorante	2.24	.98	.25	<b>.54</b>
Intelligente – Sans Intelligence	1.98	1.11	<b>.43</b>	<b>.52</b>
Connectée – Déconnectée	1.48	.78	.10	<b>.49</b>
Rapide– Lente	2.98	.79	-.07	.29
Manuelle - Automatique	4.53	.78		
Machine – Humaine	1.34	.77		
Sensible – Insensible	3.49	1.15		
Eigenvalues			2.97	1.29
% variance			37.14	16.12
$\alpha$			.75	.71

Le facteur 2 est lié au caractère informé, intelligent, connecté et compétent de la voiture autonome et exprime ainsi une forme de *technicité*. Le facteur 2 correspondrait à l'aspect robotique, technologique, et informatique attribué à l'objet, une vision technocentrée confiante en l'innovation. Pour discriminer entre ces deux facteurs, l'un semble attribuer implicitement certaines qualités humaines à la voiture autonome, l'autre focalise sur la prouesse technologique que constitue l'objet. Cette configuration en deux facteurs nuance l'existence des deux tonalités attendues dans les préconceptions. Chaque tonalité se présente comme une dimension en soi : une dimension positionne par rapport à une bienveillance quasi-humaine en prenant en compte la sécurité, l'autre positionne, malgré l'absence de l'humain, par rapport au degré de confiance à l'automaticité et à l'intelligence artificielle.

### 2.3.2 *Analyse hiérarchique de nuées dynamiques*

Une analyse hiérarchique de nuées dynamiques (Borgen & Barnett, 1987; Yim & Ramdeen, 2015) permet de regrouper des individus ayant des profils similaires à partir d'un ensemble de variables. Dans notre cas, les variables sont constituées d'éléments de contenu repérés dans les écrits des participants. Pour cela, les réponses à la question ouverte ont été codées suivant la méthode présentée par Chi, (1997). Cette méthode procède par le découpage des réponses en unités élémentaires, puis l'identification des éléments de contenu à l'aide d'une grille d'analyse. La grille d'analyse finale (première colonne du Tableau 3) contient treize éléments de contenu, tels que « exécute une tâche », identifiés dans les réponses. La méthode de Chi résulte en un relevé des éléments de contenu pour chaque participant constituant la base de données pour l'analyse.

L'analyse hiérarchique de nuées dynamiques selon la méthode de Ward résulte en cinq clusters (profils). Trois éléments de contenu – reconnaissance signalisation, robotique et dangereux – avaient un nombre d'occurrences trop faible (< 4%) pour être inclus dans l'analyse. Le Tableau 3 montre, pour chaque élément de contenu, le pourcentage de participants l'ayant mentionné dans chaque cluster et au total. Par exemple, 50 pourcent des individus dans le Cluster 1 mentionnent « Conduite seule », tandis qu'aucun (0 %) dans le même cluster ne mentionne « Exécute une tâche ».

Tableau 3. Pourcentage de participants dans chaque cluster par élément de contenu

Élément de contenu	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Total
Conduite seule	<b>50.0</b>	<b>44.4</b>	<b>36.6</b>	<b>46.2</b>	<b>43.5</b>	44.4
Autonome	11.1	<b>38.9</b>	12.2	15.4	<b>100.0</b>	28.9
Chauffeur inutile	<b>27.8</b>	<b>100.0</b>	<b>46.3</b>	<b>42.3</b>	4.3	45.6
Chauffeur utile	7.4		2.4		<b>21.7</b>	5.6
Exécute une tâche			<b>75.6</b>	11.5	17.4	21.1
Réglages nécessaires	3.7		<b>39.0</b>	3.8	4.3	11.1
Sécurité	<b>31.5</b>	5.6	17.1	15.4	8.7	17.8
Connectée/Intelligente	11.1		<b>19.5</b>	<b>96.2</b>		21.7
Capteurs	<b>70.4</b>		7.3	3.8	<b>26.1</b>	26.7
Ecologique/Propre		5.6	2.4	<b>19.2</b>	4.3	5.0
Reconnaissance signalisation						< 4.0
Robotique						< 4.0
Dangereux						< 4.0
Total	30.0	20.0	22.8	14.4	12.8	100.0
Label attribué au profil	Sécurité	Définition	Fonction	Intelligence	Chauffeur	

Pour interpréter les résultats de cette analyse, nous devons regarder les pourcentages les plus élevés d'abord dans chaque ligne pour décrire la distribution des éléments de contenu dans l'échantillon, et ensuite dans chaque colonne pour caractériser les clusters/profils. En premier lieu, concernant la distribution, certains éléments de contenu montrent un pourcentage relativement élevé pour tous les clusters et ainsi ne permettent pas de distinguer entre profils. Par exemple, la propriété "conduite seule" de la voiture autonome est mentionnée en moyenne par 44 pourcent des participants et par plus d'un tiers des participants dans tous les clusters. D'autres éléments de contenu, comme par exemple la propriété « Ecologique/Propre », n'est mentionnée que par 5 pourcent des participants qui se retrouvent majoritairement dans le Cluster 4.

En deuxième lieu, concernant la caractérisation des profils, nous avons attribué un label à chacun des profils en nous fondant sur les pourcentages supérieurs à 19% (en gras dans le Tableau 3). Il s'agit de comprendre le focus de la conception de la voiture autonome pour chaque cluster/profil à partir des éléments de contenu.

- *Sécurité.* Dans le cluster 1 qui rassemble le plus d'effectifs, les participants considèrent la voiture autonome sécurisée, le chauffeur inutile et soulignent la présence de capteurs. Ainsi, dans ce profil de préconception, l'humain aux commandes du véhicule est considéré comme superflu car la voiture autonome ne présenterait pas de danger du fait de ses nombreux capteurs, des dispositifs technologiques qui détectent toutes informations nécessaires.
- *Définition.* Le deuxième cluster ne semble caractérisé que par une définition sémantique simple sans conception particulière de la voiture autonome. En effet, les éléments de contenu ne font que reprendre les termes directement liés à la voiture autonome « chauffeur inutile » et « autonome ». Ce profil suggère des conceptions très primaires sans réflexion plus poussée sur l'objet.
- *Fonction.* Le troisième cluster se concentre sur les fonctionnalités de la voiture autonome en détaillant la nécessité d'un paramétrage. Il est caractérisé par les éléments de contenu « chauffeur inutile », « exécute une tâche », « réglages nécessaires » et « connectée et intelligente ». Autrement dit, dans ce profil de préconceptions, les individus sont bien avertis de ce qui pourrait remplacer le chauffeur humain grâce notamment à l'intelligence de la voiture et à sa connectivité. Il suffirait de faire des réglages pour pouvoir accomplir la mission de transport.
- *Intelligence.* Le quatrième cluster rend compte des éléments de contenu « connectée et intelligente » mais également « propre et écologique » avec à nouveau l'inutilité d'un chauffeur aux commandes. Ce quatrième profil suggère une préconception qui ne prend pas en compte la (non)sécurité présumée de ce type de voiture, mais focalise plutôt sur le caractère intelligent, réfléchi et responsable de la voiture en matière de pollution et de gestion du trajet par exemple.
- *Chauffeur.* Le dernier cluster traduit un profil de conception avec les éléments de contenu « autonome », « chauffeur utile » et « capteurs ». Ce profil de préconception

de la voiture autonome invoque les caractéristiques des voitures équipées de dispositifs d'aide à la conduite qui sont aujourd'hui déjà présents sur le marché.

Ainsi, l'analyse a permis de montrer l'existence de profils distincts de préconceptions au sujet de la nature de la voiture autonome. Ces profils font écho à différents degrés de ce que l'on peut entendre dans les médias. Par exemple, ils intègrent les souhaits d'innovation d'une voiture du futur : celle-ci devra être propre, programmable et intelligente et permettre à tous les usagers de la route d'être en sécurité.

On peut se poser la question de la relation entre ces cinq profils et les deux facteurs de bienveillance et de technicité trouvés dans la première analyse. Pour ce faire, nous calculons la moyenne des scores pour les facteurs pour chaque profil. Les deux profils Sécurité et Chauffeur se ressemblent en étant positifs sur les deux facteurs (.13, .15 et .06, .07 respectivement). Ces deux profils réunissent ainsi à la fois la bienveillance humaine et la technicité. Le profil Définition présente des moyennes modérément négatives sur les deux facteurs (-.12, -.08) ne soulignant ainsi ni qualité humaine, ni prouesse technique. Le profil Fonction présente une moyenne modérément négative sur le deuxième facteur (.05, -.13), et enfin le profil Intelligence présente une moyenne négative sur le premier facteur (-.23, -.03). Il semblerait bien qu'il y ait deux tonalités dans les attitudes et dans les profils.

## **2.4 Discussion**

La voiture autonome n'est pas présente dans notre quotidien mais en tant qu'une des innovations les plus attendues, elle fait partie d'une réalité proche et risque d'exiger des adaptations dans le code de la route et l'éducation à la sécurité routière. En effet, l'intelligence artificielle est utilisée de plus en plus et bouscule nos catégories et nos conceptions. L'étude a permis de mettre en lumière les éléments caractérisant les préconceptions sur la voiture autonome. Deux facteurs de bienveillance et de technicité dans les attitudes ont été mis en évidence. Le premier facteur faisant état de valeurs humaines tels que le respect, la responsabilité, et le danger explique le plus de variance. Le deuxième facteur fait le rapport



d'une voiture très technique renseignée par des capteurs. Par ailleurs, cinq profils distincts ont été établis avec des accents différents et à des niveaux fluctuants de détail. Le profil Définition, par exemple, présente une préconception limitée à la définition sémantique de l'objet et est ainsi une conception initiale à faible niveau de connaissance. Comme pour le profil Intelligence qui omet l'aspect sécurité de la voiture autonome, ces profils requièrent une formation plus poussée sur la voiture autonome et son rôle concernant tous les usagers de l'environnement routier.

A travers la littérature, nous avons mis en évidence quatre catégories ontologiques potentielles pour l'utilisation de l'intelligence artificielle. Quelle serait la relation avec les cinq profils de préconceptions identifiés dans l'étude empirique ? Les participants au profil Définition, par exemple, restent au niveau artéfact dans l'arbre ontologique et ne semblent pas posséder ni sous-catégories avec et sans intelligence artificielle, ni différents types d'intelligence artificielle. Le profil Fonction avoisine la catégorie machines réactives en ce que les participants témoignent, comme pour la machine à laver, d'intégration de quelques capacités programmables. A l'autre extrême du spectre des différents types d'intelligence artificielle, les participants au profil Sécurité semblent intégrer toutes les précautions que pourraient prendre un chauffeur humain et ainsi relever de la catégorie conscience de soi.

Une limitation de notre étude tient à la population interrogée issue majoritairement d'étudiants en sciences humaines et sociales et comportant un faible pourcentage d'hommes. Si ce panel a permis un aperçu généraliste des profils présents dans la société aujourd'hui, les réponses à la question ouverte ne contenaient pas de détails techniques. Ainsi, des travaux futurs pourraient porter sur les caractéristiques des attitudes et profils chez d'autres publics, en particulier des étudiants dans des formations scientifiques et techniques. Par ailleurs, l'ingénierie pédagogique suivant nos résultats impliquera de vérifier l'existence de ces profils de préconceptions et leurs fréquences chez des enfants scolarisés de l'école primaire au lycée.

Notre démarche ouvre la voie vers l'ingénierie pédagogique d'une éducation à la sécurité routière anticipée et adaptée aux objets auparavant non catégorisables. Il s'agirait d'élaborer

des programmes appropriés quant aux différentes catégories ontologiques et profils de préconceptions. Or, le problème est que les catégories sont inexistantes et non développées même chez le grand public. En amont des préconisations sur les comportements à adapter, il s'agit d'enseigner sur l'existence même de catégories différentes d'artefacts dû à l'intelligence artificielle. A l'inverse, ceux qui ont des catégories de l'intelligence artificielle, ou qui puissent considérer des machines comme étant intelligentes, paraissent avoir une vision trop optimiste des capacités de la voiture autonome. Il s'agirait alors de faire prendre conscience de ce que peuvent réaliser les algorithmes. Ainsi cela dépendra de la levée des secrets industriels sur les algorithmes.

La meilleure remise en cause de ses propres conceptions se fonde sur une interaction fréquente avec l'objet. Or, pour la voiture autonome, une exposition répétée et des expériences multiples et variées ne peuvent être envisagées pour des raisons de sécurité. Notre démarche contribue à l'identification des conceptions erronées sans exposer au danger. Ainsi, la prise en compte des préconceptions de la voiture autonome peut s'avérer un élément important dans la prévention à la sécurité routière. Si la démarche est indispensable due à la particularité de la voiture autonome, à la fois semblable à la voiture traditionnelle et représentant une véritable innovation, nous pensons qu'elle pourra porter ses fruits pour d'autres objets technologiques novateurs à l'avenir.

## Chapitre 3 Investigating pedestrian road crossing decisions in front of autonomous cars in 360° pictures<sup>2</sup>

*Ce troisième chapitre aborde l'étude des comportements de décisions de traversée des piétons selon le type de voiture, et selon la configuration de l'infrastructure routière (présence ou absence de passage et de feux piétons) ainsi que selon l'environnement. Trois caractéristiques individuelles ont été prises en compte, le niveau de confiance envers la voiture autonome, le degré de similarité à un chauffeur exemplaire attribuée à la voiture autonome, et le niveau de connaissance du code de la route piéton. De manière proactive, il est en effet important de se rendre compte des comportements engendrés afin de pouvoir caractériser le rapport du sujet à l'objet. Ce chapitre rédigé en anglais correspond à un article prêt à être soumis dans une revue anglophone.*

**Abstract.** Autonomous cars pledge for the improvement of road safety particularly for vulnerable road users. This type of car at its final stage will be programmed with algorithms and monitored by artificial intelligence and won't require human drivers. There is an urge to gain knowledge on the interaction between autonomous cars and pedestrians regarding prevention purposes. The objective of this study is to explore the influence of autonomous cars on pedestrian road crossing decision by taking into account the road traffic situation, environments and individual characteristics. Participants were engaged in road crossing decision tasks involving 360° pictures in three different environments depicting four road traffic signs configurations. The results shows that depending on the environment, road crossing decisions differ in front of autonomous cars with pedestrian compliance to road traffic rules. In addition, trustworthiness towards the autonomous car seems to be an important parameter in the equation. These results are discussed in terms of road safety education and prevention, where the emergence of autonomous cars asks for groundwork in human-machine relationship.

**Keywords.** Pedestrian, road crossing decision, autonomous car, road safety education, signalized crosswalk, pedestrian compliance, trustworthiness, built environment, road traffic rules, 360 panorama

### 3.1 Introduction

The introduction of autonomous cars on public roads holds the promise of major technological improvements in road safety. One of the ambitions in introducing autonomous cars is to decrease the accident rate by eliminating human failure. However, a new type of car needs to

---

<sup>2</sup> Ce chapitre est un article prêt à être soumis dans une revue anglophone

both fit in actual traffic and align with human functioning. The introduction of autonomous cars on today's roads raises a number of issues regarding the state of technological advances, actual road user behaviour, and the intricate relations between humans and machines (Fagnant & Kockelman, 2015).

Although prototypes already operate on supervised roads and/or under restrained conditions, an entirely completed product is not available as of today. In addition, the press influences the mind-set of the public in two directions. On the one hand, it presents the autonomous car as a driverless vehicle equipped with artificial intelligence capable of transporting goods and people safely. On the other hand, it gives considerable attention to accidents, such as a fatal car-pedestrian collision in Tempe, Arizona in 2017, thereby undermining trust in the autonomous car. These opposite influences make it difficult to foresee future interactions between autonomous cars and road users. Hussain & Zeadally, (2018) report on recent scientific and technological progress and identify remaining requirements. In particular, decision-making algorithms are not yet settled, interaction modes with pedestrians are unknown, and preventing potentially dangerous situations is an arduous process. In sum, the autonomous car is a complex product, a not yet existing innovative object, of which the nature and functionalities are not fully defined. From the point of view of accident prevention, it would not be wise to wait for a finalised product, thus the aim of this study is to investigate user behaviour proactively.

A primary concern relates to the most vulnerable road users, pedestrians, who will directly interact with the autonomous car. Pedestrian road crossing is ruled by road traffic laws and signs ensuring safety and responsibility. For example, marked crosswalks are equipped with a zebra crossing and pedestrian traffic lights. Although such road traffic configurations are expected to reduce the number of collisions, they are also associated to higher numbers of pedestrian-vehicle collisions (Šucha, 2014, Zegeer et al., 2005). Despite these statistics, road traffic configurations enhance the comfort and feeling of safety of pedestrians (Havard & Willis, 2012) and influence pedestrian compliance rate (Ren et al., 2011). For instance, the

likelihood of pedestrian crossing is influenced by the presence of a zebra crossing and pedestrian traffic lights (Di Stasi et al., 2014). The current study investigates whether pedestrian rule compliance and feeling of safety depend on the type of car, human-operated or autonomous.

Crossing decisions have been widely observed and studied (Feldstein et al., 2016; Johnston & Peace, 2007; Mako & Szakonyi, 2016; Rosenbloom, 2009; Zeedyk & Kelly, 2003). Pedestrians face the highest risk of collisions when crossing a street and crossing is therefore regulated by road traffic signs and rules. High pedestrian rule compliance and less unsafe pedestrian behaviour, such as jaywalking, is observed with steady green and red pedestrian traffic lights (Di Stasi et al., 2014). In the absence of road traffic signs, pedestrian rule compliance decreases (Bergeron et al., 2008). Furthermore, several other factors influence pedestrian rule compliance such as both the built and natural environment (Granié et al., 2014; Holland & Hill, 2007, 2010; Liu & Tung, 2014; Lobjois et al., 2013; Rosenbloom, 2009; Rosenbloom et al., 2008). Granié et al., (2014) studied the influence of perceptions of the built-environment on road crossing and feeling of safety with still photographs. The further from the city centre, the more pedestrians feel insecure and the less they are inclined to cross. Therefore, the study of crossing decisions in front of an autonomous car needs to take into account crossing configurations and the nature of the built environment.

Pedestrian interactions with the autonomous car will depend on individual characteristics. First, in order to act responsibly and safely, knowledge of road safety rules is necessary for understanding road traffic signs and priority rules. The level of knowledge of road safety rules regulates pedestrian crossing decisions and their right of way (Hatfield et al., 2007; Mitman & Ragland, 2007). Furthermore, trust, as measured as part of pedestrian receptivity (Deb et al., 2017; Schieben et al., 2018; Stanciu et al., 2018), might be a relevant individual characteristic. Miller et al., (2016) showed that trust in automation influences driver behaviour regardless of the actual functionality of the car. Since pedestrians will be facing a car driven by a machine, trust may also influence their interaction with the autonomous car. Finally, the question arises

whether pedestrians would see an autonomous car as behaving more or less like a human. Pedestrians who would judge the autonomous car to be highly similar to a car with an ideal human driver would make no distinction between both types of cars in deciding whether to cross or not. Research shows that anthropomorphist features of autonomous cars, such as a name and gender, increase trust and perceived anthropomorphism (Niu et al., 2018; Waytz et al., 2014). However, regarding driver characteristics, the relation might as well be a negative one, i.e. lower perceived similarity might be related to the idea that autonomous car are in fact technologically advanced and thus less fallible and more trustworthy than an ideal driver.

Rasouli and Tsotsos (2018) did an extensive review of pedestrian behaviour studies. Compared to the human-operated car, not a lot is currently known about pedestrian interactions with the autonomous car. In fact, exploring pedestrian behaviour following the implementation of autonomous cars is a challenge as this type of vehicle is not yet available. As a consequence, studies involve alternative data collection methods, such as questionnaires, literature surveys, and wizard of Oz methods (i.e. disguising the human driver as a car seat), each with their own particular advantages and flaws (Rasouli & Tsotsos, 2018). Another method involves data collection from photographs which has proven to be reliable and relevant for studying road crossing (Ampofo-Boateng & Thomson, 1991; Brorsson et al., 2016; Granié et al., 2014). As still photographs are used for road safety education and for the theoretical exam for a driving licence, it is an accepted way for reviewing road traffic situations. Furthermore, surface characteristics can be modified to fit the experimental setting, such as selecting a type of car, a pedestrian traffic light or adapting the built environment. In the study of virtual and simulated, 360° pictures were found to produce similar responses to real life situations (Higuera-Trujillo et al., 2017).

### *3.1.1 The current study*

This study examines pedestrian road crossing decisions using still photographs in 360° view. The objective of this study is to investigate pedestrian road crossing decisions in the presence

of an oncoming car, either human-operated or autonomous, taking into account the likelihood of crossing according to traffic rules and the built environment.

Pedestrian rule compliance crucially depends on pedestrian knowledge of traffic rules. Whereas low knowledge of traffic rules may lead to low pedestrian rule compliance, the opposite, high knowledge leading to high pedestrian rule compliance, is uncertain. Pedestrians could seek risk (crossing despite low likelihood) or avoid risk (no crossing despite high likelihood). Crossing decisions in front of an autonomous car might also depend both on trustworthiness of the autonomous car and the perceived similarity to the ideal human driver. In the current study, we adapted existing scales and developed questions for all three individual variables: knowledge of traffic rules, trustworthiness, and perceived similarity to the ideal human driver. We expect a positive correlation between trustworthiness of the autonomous car and its perceived similarity to the ideal human driver.

Road crossing decisions were elicited with photographs of three different environments at the same distance from the city centre, with comparable crossing settings, and similar density of surrounding buildings. The environments followed the specifications of Granié et al. (2014). First, regarding road crossing decisions, we expect pedestrian rule compliance resulting in higher number of positive crossing decisions for higher levels of likelihood (likely and very likely) according to traffic rules. Second, we expect a main effect of car (human-operated, autonomous) with less frequent crossing in front of an autonomous compared to a human-operated car. We also expect the individual characteristics to control for an effect of the type of the car.

In terms of feeling of safety, we expect higher feeling of safety when road traffic infrastructure allows pedestrians to cross (green pedestrian light and zebra crossing). In addition, since the autonomous car is unfamiliar to pedestrians, we expect it to produce a lower feeling of safety as compared to the human-operated car. In other words, road crossing decision and feeling of safety should have mirrored effects in a sense that if road crossing decision is affected by the type of car, feeling of safety should be also influenced in the same direction.

## 3.2 Method

### 3.2.1 *Experimental design*

The experiment follows a within-subject design with three factors: 2-Car (Human-operated, Autonomous) x 4-Likelihood of crossing according to traffic rules (Very unlikely, Unlikely, Likely, Very likely) x 3-Environment (Main Road, Business Park, and Residential Area).

### 3.2.2 *Road crossing decision task*

The experimental task involved 24 road crossing decisions, based on a photograph in 360° view of a setting, in front of either a human-operated or an autonomous oncoming car on the left. The likelihood of crossing according to traffic rules was varied using zebra crossings and traffic lights resulting in four levels: very unlikely (zebra with red pedestrian traffic light), unlikely (no zebra, no pedestrian traffic light), likely (zebra, no pedestrian traffic light), very likely (zebra with green pedestrian traffic light). Three environments Main Road, Business Park, and Residential Area were photographed providing three environments for the same road crossing decision with respect to type of car and likelihood of crossing. The three environments had comparable road architecture and density of buildings and were at a remote location. Following the specifications from Granié et al. (2014), the photographs consisted in one shot on the same day under natural daylight at a non-busy time and represented a two-way street with a pavement on each side. Using Photoshop, the oncoming car on the left, either human-operated or autonomous, was added at a fixed distance of 35 meters from the perspective of the participant. To provide an incentive for crossing, a human-operated oncoming car was added on the right at 70 meters. There were no visible other cars nor any people. The 24 items (2 car \* 4 likelihood \* 3 environment) and 10 filler items were presented in three fixed random orders. The situations were presented on a 19" monitor. Starting viewing direction was varied in order to encourage exploration of the whole situation. Participants answered two questions for each item:



1. In this situation, you need to be on the other side of the street, do you cross the street now? (Yes/No).
2. On a scale from 1 to 10, in terms of safety, how do you evaluate crossing at this instant? (From 1 totally unsafe to 10 totally safe)

### 3.2.3 *Participants*

45 students in social sciences from a South-West university of France participated on a voluntary basis. The mean age was 26.73 years old ( $SD = 14$  years) and the sample was 82.2% female. The experiment took place in a computer lab on campus and participants were not given information about the core subject or the hypotheses.

### 3.2.4 *Individual characteristics*

Three variables for measuring individual characteristics were included: knowledge of road safety rules, trustworthiness of the autonomous car and perceived similarity to the ideal human driver.

First, regarding knowledge of road safety rules, 13 multiple choice questions were developed following a governmental summary sheet on pedestrian crossing rules (Billard et al., 2010). One point was given for each question with all correct items checked and all false items unchecked (min = 0, max = 13). A Cronbach's alpha of .74 indicated an acceptable internal consistency.

Second, the 7-items trustworthiness scale for trust in Adaptive Cruise Control Systems (Verberne, Ham, & Midden, 2012) was adapted to measure trustworthiness from a passenger's and a pedestrian's point of view (14 items). The items were rated from 1 (Strongly disagree) to 7 (Totally agree). Trustworthiness was computed through the mean of the 14 items. A Cronbach's alpha of .91 indicated high reliability. Reliability for the pedestrian and the passenger part of the scale was .89 and .86 respectively.

Third, the perceived similarity to the ideal human driver included 1) beliefs about the characteristics of autonomous car (e.g. “The autonomous car can read road traffic signs”), 2) a semantic differential scale on human characteristics (e.g. “qualified” versus “non-qualified” ) (Dewar & Ells, 1977; Osgood, 1964) and 3) beliefs regarding the capacity of the autonomous car to comply to road traffic rules (e.g. “the autonomous car literally follows road traffic rules”). The scale consisted of 22 6-point items. A high value indicated that the autonomous car is judged similar to an ideal human driver. Reliability of the perceived similarity to the ideal human driver scale was .82.

### *3.2.5 Procedure*

After agreeing to the informed consent, participants were familiarized with the look of the autonomous car accompanied by a short definition: “connected vehicle which once programmed is able to travel automatically on public roads without any intervention of its users”. This presentation served as a baseline for knowledge of the difference between a human-operated and an autonomous car. Then, participants filled in the trustworthiness of the autonomous car and perceived similarity to the ideal human driver questions. A familiarization activity allowed the participants to get used to exploring the 360° view and the drag and drop mouse action by looking for a hidden basketball in two environments. Subsequently, the participants engaged in the road crossing decision task. Participants were then asked to fill out the knowledge of road safety rules questionnaire and answered some demographics questions. Finally, the participants were debriefed and thanked for their participation.

## **3.3 Results**

The data analysis comprises a descriptive analysis of individual characteristics (Knowledge of road safety rules, Trustworthiness and Perceived similarity to the ideal human driver), a logistic regression on road crossing decisions, and an analysis of variance on the feeling of safety.

### 3.3.1 Individual characteristics

Table 4 shows the descriptive statistics for the three individual characteristics. Mean knowledge of road safety rules was about 33% (min. 0%, max 69%). Participants had relatively poor knowledge of the rules and legal actions as a pedestrian.

Mean trustworthiness of the autonomous car as a passenger and pedestrian combined was lower than the centre point (4) of the scale. A one-sample T-test for comparing the mean to the centre point of the scale was significant  $t(44) = -2.341, p = .024$ . Thus, the autonomous car was judged to be slightly untrustworthy. Furthermore, trustworthiness as a pedestrian ( $M = 3.29, SD = 1.20$ ) was significantly lower than as a passenger ( $M = 3.96, SD = 1.15$ ),  $t(44) = -4.403, p = .000$ . A one-sample T-test revealed that trustworthiness as a pedestrian ranked lower than the centre value ( $t(44) = -3.923, p = .000$ ) whereas trustworthiness as a passenger did not differ from the centre value ( $t(44) = -.222, p = .826$ ). In other words, overall participants in the sample had less trust in the autonomous car as a pedestrian than as a passenger. In further analysis, we considered joined trustworthiness as a pedestrian and passenger.

Mean perceived similarity to the ideal human driver was slightly higher than the centre point of the scale (3.5),  $t(44) = 6.751, p = .000$ . The autonomous car was considered moderately similar to a human-operated car with an ideal human driver.

A Pearson product moment correlation coefficient was computed to assess the relationship between the three variables. Table 4 shows a positive correlation between trustworthiness of the autonomous car and its perceived similarity to the ideal human driver. Knowledge of road safety rules did not correlate with either trustworthiness or perceived similarity to the ideal human driver.

Tableau 4. Summary statistics of the individual characteristics

Cronbach's $\alpha$	<i>N</i>	Min	Max	Mean	Standard deviation	Knowledge of road safety rules	Trustworthiness of the autonomous car
Knowledge of road safety rules							
.74	45	.00	9.0	4.3	2.35	-	
Trustworthiness of the autonomous car							
.91	45	1.0	5.6	3.6	1.06	-.079	-
Perceived similarity to the ideal human driver							
.82	45	2.9	5.1	4.1	.62	-.149	.699**

### 3.3.2 Crossing decision as a function of car, likelihood and environment

The data were analysed following a repeated measures logistic regression using the statistical program SPSS with the GENLIN command. The dataset contained 2 x 4 x 3 decisions for each participants in the sample. Figure 2 shows the percentage of positive crossing decisions in all 24 situations. The category 'human-operated car' was taken as level of reference for the variable car, the category 'very unlikely' as the level of reference for the variable likelihood and 'main road' for the variable environment.

First, we checked whether knowledge of road safety rules, trustworthiness of the autonomous car and perceived similarity to the ideal human driver would predict road crossing decisions. Only trustworthiness significantly predicted the pattern of results ( $\beta = .218$ ,  $SE = .0995$ ,  $Wald \chi^2=4.814$ ,  $p = .028$ ). Therefore, only this individual characteristic was taken into account in further analysis.

Second, we tested a model to check the role of the environment. Contrary to our expectations, an effect of environment was found. More positive crossing decisions were found in both the business park ( $\beta = .424$ ,  $SE = .0797$ ,  $Wald \chi^2=28.288$ ,  $p < .000$ ) and the residential area ( $\beta = .296$ ,  $SE = .0646$ ,  $Wald \chi^2=20.967$ ,  $p < .000$ ) as compared to the main road.

Third, we tested pedestrian rule compliance in a model with both likelihood according to traffic rules and its interaction with the environment. The analysis showed a main effect of likelihood according to traffic rules in the expected direction. More positive crossing decisions took place when the likelihood was likely (zebra crossing) and very likely (zebra crossing and

green pedestrian traffic light) as compared both very unlikely (red pedestrian traffic light) and unlikely (no zebra crossing nor pedestrian traffic light) situations ( $\beta_{very\ unlikely} > \beta_{unlikely} > \beta_{likely} > \beta_{very\ likely}$ ). The details of the parameters of this model can be seen in Table 2 (Model 1). We also found an interaction with the environment. In lower levels of likelihood, participants decided to cross the road more often in the business park and the residential area environments compared to the same levels of likelihood in the main road environment (Figure 2). The main road environment seemed to be discouraging for road crossing.

Therefore, the effect of car, controlled for trust, was tested in a model taking into account both likelihood, and its interaction with environments (Table 5, Model 2). According to our expectations, an effect of car was found. There are less positive crossing decisions in front of the autonomous car. According to the overall model evaluation, the Wald  $\chi^2$  of the individual predictors, the goodness of fit statistics, the second model seemed to be the most relevant ( $QIC = 787.341$ ) (Peng et al., 2002).

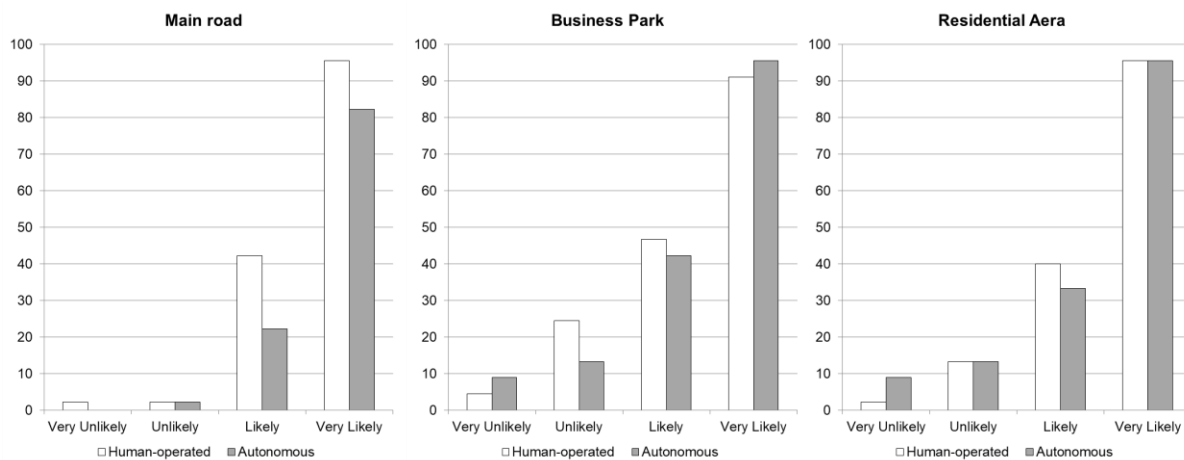


Figure 2. Mean percentage of positive crossing decisions as a function of car, likelihood, and environment

### 3.3.3 Feeling of safety

The dataset was composed by a feeling of safety score ranging from 0 to 10 for each of the 24 crossing decisions for all 45 participants. Mean of feeling of safety was negatively correlated with perceived similarity to the ideal human driver ( $r(43) = -.345, p < .05$ ), but not with

knowledge of traffic rules or trustworthiness. This unexpected correlation shows that the more pedestrians perceive autonomous cars as ideal human drivers, the less they feel safe in crossing situations for both autonomous and human-operated cars. In the following analysis, perceived similarity is the sole covariate to participate in the model.

Prior to the analysis, the normality of the data was confirmed through a Shapiro-wilk test ( $D(45) = .984, p = .763$ ). The data were analysed through a general linear model with the type of car (human-operated, autonomous), likelihood of crossing according to traffic rules (very unlikely, unlikely, likely, very likely) and environment (main road, business park and residential area) taken as fixed factors. Perceived similarity of the human ideal driver was entered as a covariate. Mauchly's test indicated that the assumption of sphericity had been violated only for likelihood ( $\chi^2(5)=66.280, p<.000$ ), therefore Greenhouse-Geisser corrected tests are reported for this variable ( $\epsilon = .512$ ). First, we checked whether feeling of safety was influenced by the environment. A significant effect of environment was observed ( $F(2,32) = 11.43, p < .000, \eta^2=.42$ ). Mean feeling of safety was lower ( $M = 4.19, SD = 1.10$ ) in main road than in business park ( $M = 4.55, SD = 1.13$ ) and residential area ( $M = 4.43, SD = 1.05$ ). Second, as expected, feeling of safety was significantly affected by the likelihood ( $F(1.27, 20.37) = 100.015, p < .000, \eta^2=.86$ ). In figure 3, we can see that feeling of safety is gradually increasing following the levels of likelihood.

Then, we were interested in the interaction effect between likelihood and environment which was significant in the analysis with road crossing decisions. In this analysis, the interaction was also found to be significant ( $F(3.54, 56.58) = 3.137, p = .026, \eta^2=.16$ ). Upon inspecting the individual parameters, one parameter was found to be significant.

When crossing was unlikely, feeling of safety was higher in the business park environment ( $M=3.52, SD = 1.83$ ) in comparison to the residential area ( $M=2.84, SD=1.73$ ). When crossing was very likely, feeling of safety was somewhat lower in the business park environment ( $M=7.32, SD=1.81$ ) compared to the residential area ( $M=7.58, SD=1.81$ ). However, contrary

to our expectations, no main effect of car was observed and no interaction was found. Feeling of safety was the same regardless of the type of car.

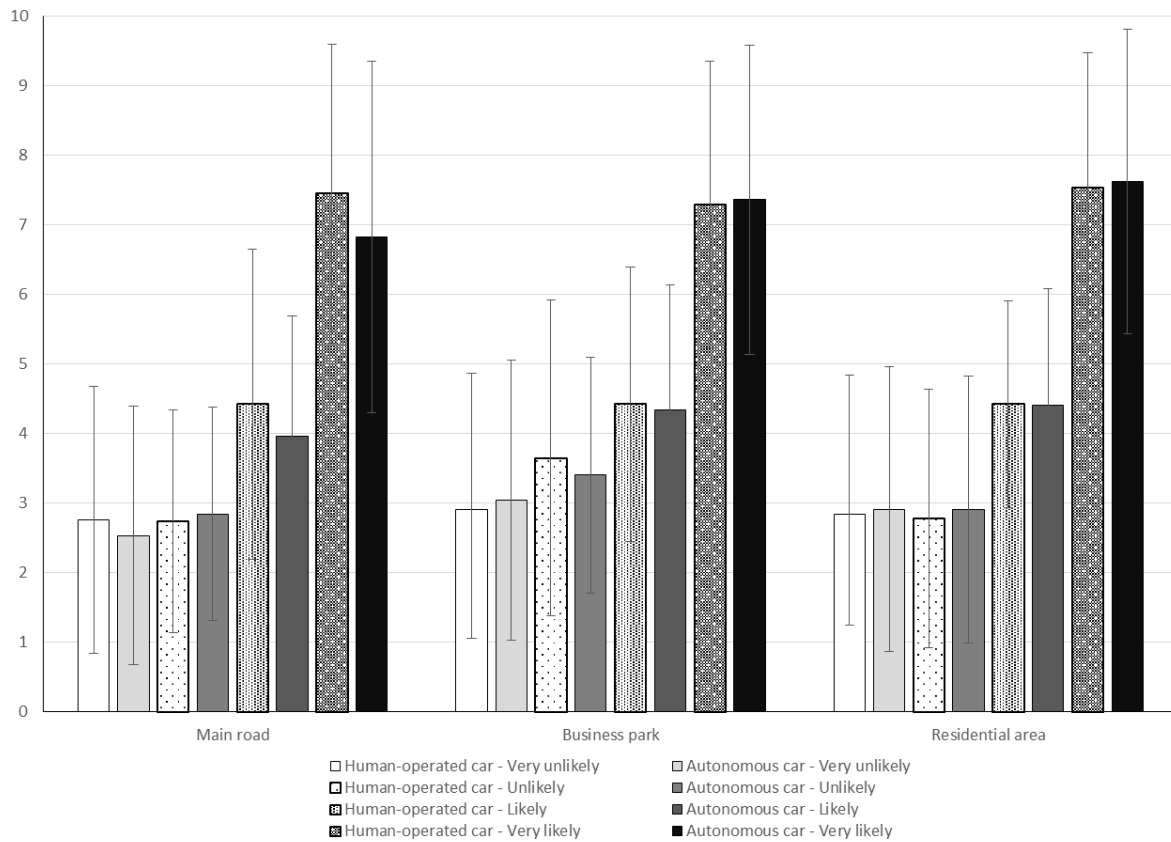


Figure 3. Mean feeling of safety as a function of the type of car, likelihood and environment.

### 3.4 Discussion

The goal of this study was to proactively investigate road crossing behaviour in front of autonomous cars. Taking into account individual characteristics, road crossing decisions were studied as a function of type of car, likelihood of crossing according to traffic rules, and environment. We discuss three categories of results.

First, the results allows reflecting on the level of knowledge of road safety rules, trustworthiness of the autonomous car and the perceived similarity to the ideal human driver in today’s society. Regarding knowledge of road safety rules, the questions assessed precise knowledge of road safety rules and jaywalking. Less than 40% of questions were correctly

answered indicating relatively low knowledge on pedestrian safety rules. Furthermore, knowledge of road safety rules was unexpectedly not related to either trustworthiness of the autonomous car or perceived similarity to the ideal human driver. Higher knowledge of road safety rules does not match higher trust in or higher perceived similarity. This results contradict our initial reasoning considering that playing by the rules would give enough confidence by having lawful behaviours and thus trust. However, our dataset may suffer from restriction of range and future research is needed. For example, comparison can be made between different levels of knowledgeable pedestrian on road safety rules. For trustworthiness of the autonomous car, the results indicated a slight lack of trust in general, but in particular as a pedestrian compared to being a passenger of an autonomous car. Furthermore, the autonomous car was perceived to be slightly similar to the ideal human driver. These results inform about the perception of the autonomous car in today's society in which, on the one hand, one does not yet encounter autonomous cars. Available information about accidents and dysfunctionalities in the press can raise suspicion about the introduction of autonomous cars on the road. On the other hand, information in the press also acclaims future autonomous cars and their multiple technological functionalities providing comfort and safety. Thus, the idea is conveyed of a promise of autonomous cars doing just as well as human-operated cars. Finally, the correlation between the two variables was positive and significant revealing that higher perceived similarity to a human-operated car is associated to higher trust in the autonomous car. This confirms the tendency for trusting objects with automorphic features (Niu et al., 2018; Waytz et al., 2014).

Second, to investigate road crossing decisions, a model including the variable environment showed an effect of environment as well as an effect of likelihood. We did not expect an effect of environment as the three environments were three versions of the same street scene. Road crossing decisions were lower for the main road environment. Indeed, the road configuration of this environment, a straight road, gives the feeling that cars are expected to drive at a higher speed and will be less inclined to stop for a jaywalking pedestrian. Furthermore, when controlling for trust, autonomous cars lead to fewer crossing decision. These results are in line



with the work of Deb et al., (2017) where opinion on crossing in front of an autonomous car are mixed and trust indecisive. These results are also confirming our hypotheses, autonomous cars as a novelty does influence behaviour, it is important to be able to qualify and explain this effect. In addition, we need to make more investigations on the implications of the influence of the type of car on the range of pedestrian behaviours and levels of trustworthiness.

Third, we analysed feeling of safety as a complementary measure of the behaviour of the pedestrians. Road configurations giving right of way to the pedestrian, i.e. the presence of a zebra and/or green pedestrian traffic light lead to higher feelings of safety. On the contrary, the absence of zebra and/or the presence of a red pedestrian traffic light lead to low feeling of safety. This results confirms our hypothesis on the fact that feeling of safety is higher when pedestrian feel protected by zebra crossings and traffic lights. Furthermore, perceived similarity of the ideal human driver was the only covariate correlating negatively with feeling of safety. This result exposes the following relationship: the more one considers the autonomous cars as resembling the ideal human driver, the less one feels safe in road crossing. This results is in line with the positive correlation between trustworthiness and perceived similarity to the ideal human driver. Indeed, the more one perceives the autonomous car as similar to the ideal human driver, the higher the trust in autonomous cars. Additionally, contrary to our expectation, feeling of safety did not differ depending on the type of car (human-operated or autonomous). Thus, unexpectedly, autonomous cars did not produce lower feeling of safety compared to human-operated cars even though an effect was found for the road crossing decision. We may wonder how exactly the question about feeling of safety was referred to by the pedestrians. Indeed it seems that pedestrians were referring to the context of the road situation, because the measure depended significantly on the environment and the levels of likelihood. This is another hint on the effect of the built environment and the pedestrian infrastructure observed for the road crossing decision. Indeed, the three environments are from the same distance from the city centre, their difference reside only on the built environment. Main road was the only environment which did have any buildings and a straight road which can explain the lower feeling of safety as well as lower road crossing decisions. Pedestrians may have rated their

feeling of safety of being in this environment and not about the road crossing task. Further studies should target this measure at a specific element of the road crossing.

This experiment is in favour of differences in road crossing decision in front of autonomous cars. Indeed it is possible that autonomous car raises fear and rejection as machine. As Müller et al. (2016) point out, the common public has no experience with autonomous cars and they do not know how the autonomous car will in turn relate to them. When asked on user acceptance, one of the prior concern is about legal issues and safety (Kyriakidis et al., 2015). However there is no evidence advocating for a different reaction in front of autonomous car as compare to human-operated cars. The researchers Nass & Moon, (2000) demonstrated that humans apply social rules and expectations to robots, therefore the same could apply to autonomous cars. This issue leads to another crucial interrogation: should vulnerable road users have a different perception of the autonomous car and behave differently when around it? In fact we may wonder if prior to the introduction of the autonomous car, safety education should list and warn on potential deficiency or inadequacy of this type of car with human being or at least emphasize its numerical ways of functioning with algorithms. And in terms of trust, should trustworthiness towards autonomous raised at its higher or on the contrary lowered to raise suspicion and empower pedestrian on their own safety?

#### *3.4.1 Future research*

The use of still pictures with a 360° view allows the systematic study of the effects of type of car and of road crossing configuration. However, it does not immerse the pedestrian in a dynamic situation, in particular regarding speed, direction and movements of the car, which is important information for road crossing decisions. Furthermore, in our study, pedestrians stated whether or not they would cross the road. Actual road crossing behaviour might be studied in a virtual reality set-up (Higuera-Trujillo et al., 2017).

The task in the current study did not inflict an urge or a necessity to cross. Charron et al. (2012) warn that pedestrians take more risks when urged to cross. In our study, there were only

one car per road track, coming from the left and from the right of the pedestrians. The downfall was that the participants wanted to wait for the car to pass. Therefore, crossing was not compulsory. Moreover, results showed that for an environment with no building, road crossing decisions were the lowest. The influence of the motive for crossing could be studied in a road crossing game. In addition, the skills developed in such a road crossing game could be easily transposed in reality (Schwebel et al., 2014).

We observed an unexpected interaction effect of likelihood and the environment. These results allow to think at a greater extent of the influence of the environment which should be clarified in further studies. For instance, the specific results obtained in the main road environment with both types of car suggest specific factors linked to lower level of trustworthiness.

#### *3.4.2 Practical implications*

The presence of road traffic signs such as zebra crossing and pedestrian traffic lights were crucial parameters in road crossing decisions. More research is needed in order to know their real influence and their legitimacy especially if their suppression is considered in place of autonomous cars mounted displays. Moreover, for road traffic regulations purposes, it would be important to know if road traffic signs could more effectively regulate jaywalking and reinforcement of the road traffic law.

The results suggest an apprehension from the autonomous car although the measures of individual characteristics indicate a rather neutral level of trustworthiness and disrupted conception of autonomous cars even though it predicted road crossing decisions. It seems like our sample did not have yet a clear cut opinion on the innovative object. One question arises about the tone to give on the presentation of the autonomous car and its characteristics. Prevention and road safety education could stress possible fatal deficiencies of autonomous cars or emphasize their benefits, nevertheless depending on initial individual conceptions.

### 3.5 Conclusion

We presented a study on the influence of the autonomous car on road crossing decisions and feeling of safety as a function of the environment and the likelihood of crossing according to traffic rules and individual characteristics. The results shows that road crossing decision is more limited in front of autonomous cars when taking into account trustworthiness towards the autonomous car. The leading effect of likelihood (presence and absence of zebra crossing and pedestrian traffic light) demonstrated that traffic signs would not only call for a warranty for safe crossing but also seen as insufficient to provide feeling of safety. The results supports an influence of the environment depending on the level of likelihood, however further research is needed in order to identify the specific characteristics of the environment which are into play such as the shape of the road, the state of wear of the pavement or the presence of specific amenities.

To conclude, the results gave preliminary insights on the interaction between autonomous cars and pedestrians with still 360° view pictures. Pedestrians crossed less in front of autonomous car. Further research is needed with more immersive and dynamic method for data collection, for instance, the use of virtual reality could allow similar real life physiological responses (Higuera-Trujillo et al., 2017). In addition, more comprehension on the pedestrian perception of an empty driver seat car is needed to understand the processes into play. And at the same time, research should focus on the autonomous car-pedestrian interaction, and the necessity to have a communicative system into play. As more and more autonomous vehicle prototypes are been encountered, trustworthiness and road crossing behaviours should also develop.

Table 5. Logistic regression on crossing decision

Predictor	Model 1					Model 2				
	$\beta$	SE $\beta$	Wald's $\chi^2$	df	p-Value	$\beta$	SE $\beta$	Wald's $\chi^2$	df	p-Value
Intercept	-4.489	.9999	20.150	1	.000	-5.607	1.0179	18.181	1	.000
Car-Autonomous*Trustworthiness	.	.	.	.	.	.252	.1265	3.984	1	.046
Car-Human-operated*Trustworthiness	.	.	.	.	.	.332	.1275	6.778		.009
Likelihood-Very Likely	6.568	1.0359	40.202	1	.000	6.671	1.0259	42.280	1	.000
Likelihood-Likely	3.745	1.0028	13.949	1	.000	3.784	1.0029	14.232	1	.000
Likelihood-Unlikely	.704	1.2432	.321	1	.571	.706	1.2456	.321	1	.571
Likelihood-Very Likely*Env.- Residential area	.989	.5178	3.645	1	.056	.996	.5196	3.675	1	.056
Likelihood-Very Likely*Env.- Business Park	.560	.3545	2.492	1	.114	.565	.3575	2.495	1	.115
Likelihood-Likely*Env.- Residential area	.197	.2142	.846	1	.358	.202	.2197	.847	1	.358
Likelihood-Likely*Env.- Business Park	.520	.2472	4.432	1	.035	.535	.2560	4.363	1	.036
Likelihood-Unlikely*Env.- Residential area	1.912	.7805	6.004	1	.014	1.927	.7838	6.041	1	.014
Likelihood-Unlikely*Env.- Business Park	2.327	.6061	14.741	1	.000	2.348	.6061	15.011	1	.000
Likelihood-Very Unlikely*Env.- Residential area	1.655	.6927	5.711	1	.017	1.661	.6922	5.759	1	.017
Likelihood-Very Unlikely*Env.- Business Park	1.850	.9234	4.012	1	.045	1.857	.9244	4.035	1	.045
QIC			795.458					787.341		

## Chapitre 4 Conception et étude de systèmes d'interaction piétons-voitures autonomes<sup>3</sup>

*Dans le précédent chapitre, nous avons vu que la voiture autonome influence négativement les décisions de traversées en fonction du niveau de confiance du sujet. En effet pour toute interaction avec un nouvel objet, une communication avec l'utilisateur doit être envisageable. Afin de proposer une solution à l'interaction homme-machine, ce chapitre présente la création et l'étude de la compréhension de systèmes d'interactions sur les intentions de la voiture autonome à l'égard des piétons en situation de traversée. Deux systèmes d'interaction ont été imaginés par des usagers potentiels lors de séances de créativité, un système qui informe et un système qui conseille le piéton. L'étude de ces deux systèmes a été réalisée en termes de compréhension de la vitesse de la voiture, de la priorité donnée au piéton et de la décision de traversée adéquate. Ce chapitre fait l'objet d'une soumission dans une conférence.*

**Résumé.** Pour tout objet issu de l'innovation, des modalités d'usage doivent être envisagés. La communication entre les usagers de la route et une voiture autonome est une des conditions primordiales pour assurer la sécurité de tous. Deux systèmes d'interaction ont été développés lors de séances de créativité avec la participation d'usagers potentiels. Le premier système a pour but d'informer le piéton en affichant la vitesse du véhicule, le deuxième système conseille le piéton en affichant des feux piétons. Une étude de la compréhension de ces systèmes d'interactions a été réalisée avec des questions ouvertes à partir d'images sans contexte ainsi qu'avec des questions à choix multiples à partir de vidéos contextuelles. La compréhension a été évaluée selon trois critères : le changement de la vitesse du véhicule, les feux piétons et la priorité au piéton, et la décision de traversée en accord avec le code de la route. Les résultats montrent que le système qui conseille laisse moins de place à l'interprétation et permet davantage de comportements de traversée conformes au code de la route. Le système qui informe n'est pertinent que sur des questions de vitesse.

**Mots-clés.** conception, créativité, design participatif, design d'interface, communication, évaluation, compréhension.

### 4.1 Introduction

Pour tout nouvel objet issu de l'innovation, un mode d'interaction avec les individus est nécessaire pour pouvoir faire usage de l'objet (Mallein & Tarozzi, 2002). Cependant, les

---

<sup>3</sup> Ce chapitre correspond à une réponse à un appel à communication dans une conférence internationale francophone

interactions pensées en amont lors de la conception ne sont pas forcément intuitives pour les utilisateurs se trouvant devant le produit fini. Souvent certains modes d'interactions se révèlent obsolètes dans l'usage. Dans le domaine de la signalisation routière, on peut citer l'exemple de l'échec d'un dispositif de signalisation. Il s'agit de la mise en place de demi-sphères de béton blanc sur fond blanc pour décourager l'utilisation d'une piste cyclable par les automobilistes. Ces demi-sphères se sont avérées être dangereuses plutôt que sécurisantes pour les cyclistes. Pour contrer ces problèmes, les pratiques du design peuvent inclure les usagers cibles dans le processus de création d'artefact.

Les méthodes de conception varient selon le type d'artefact (un service, un visuel, un espace, un mode d'interaction, etc.), les dimensions de l'artefact (sa forme, sa fonction, ses domaines d'application, etc.) et selon la façon dont on va inclure les différents acteurs du processus de création (les usagers, les concepteurs, les experts, etc.). Pour ce qui est de la conception de systèmes d'interaction de la voiture autonome, nous cherchons à déterminer sa forme et son contenu en impliquant les futurs usagers, c'est à dire les piétons, dans le processus.

Le courant du design thinking apparu dans les années 1980 (Rowe, 1987) avait pour ambition de définir les différentes méthodes de conception à l'égard des designers lors de son usage dans différentes disciplines. Il définit comment les designers voient et pensent les différents problèmes de conception à résoudre (Razzouk & Shute, 2012). Il utilise les raisonnements inductif, déductif et abductif (Dorst, 2011). Parmi les nombreuses méthodologies issues de ce courant (Johansson-Sköldberg et al., 2013), il y a la méthode du participatory design. Cette méthode consiste à impliquer l'utilisateur final dans le processus de conception en mettant en avant ses connaissances et son expérience (Sanders, 2002). Dans des séances de créativité par exemple, il s'agit de mettre par groupe des individus aux compétences variées face à des contraintes définies pour générer des idées. Chaque séance de créativité est organisée en trois phases : une phase immersive, une phase de divergence et une phase de convergence (Basadur et al., 1982). La phase immersive présente le contexte, les problématiques et une revue des solutions déjà existantes. La phase de divergence permet à

l'individu de se décentrer du sujet et d'y réfléchir sans porter de jugements. La phase de convergence permet plus facilement de trouver des solutions en se recentrant sur le sujet.

Ensuite, l'évaluation d'un artefact concerne la plupart du temps trois dimensions : l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité (Grislin & Kolski, 1996; Senach, 1990; Tricot et al., 2003). L'utilité se réfère à la capacité de l'artefact à permettre à l'utilisateur d'atteindre les objectifs établis. L'utilisabilité rend compte de la facilité d'utilisation du produit en termes d'apprentissage ou de documentation. L'acceptabilité rend compte de l'intention de l'usage de l'artefact. Dans le cas de l'interaction piétons-voitures autonomes, on parle de réceptivité car le piéton ne fait pas un usage du véhicule mais interagit avec lui (Deb et al., 2017).

La présente contribution comporte la conception de systèmes d'interaction de la voiture autonome à travers deux séances de créativité et une séance d'élaboration, ainsi qu'une étude en termes de compréhension par des utilisateurs futurs.

## **4.2 Conception de systèmes d'interaction pour la voiture autonome**

La communication entre piétons et chauffeur de véhicule est variée et complexe. Stanciu et al. (2018) font une revue des modes de communication entre piétons et véhicules en distinguant les signaux formels et informels. L'utilisation des clignotants pour indiquer un changement de direction, le bras tendu d'un cycliste sont des signaux formels. Les signaux informels sont ceux appris par l'observation et l'expérience, comme le contact visuel, et dépendent beaucoup du contexte et de la culture. Dans une étude proactive, Rothenbücher et al. (2015) ont utilisé une voiture dont le conducteur était rendu invisible en étant déguisé en siège. Même si le comportement de traversée des piétons ne semblait pas être influencé, des moments d'hésitation et un sentiment d'incertitude quant au comportement du véhicule ont été relevés. Cette observation amène à des questionnements sur la forme et le contenu de potentiels systèmes d'interaction de la voiture autonome (Gupta et al., 2016; Rothenbücher et al., 2015).



Les constructeurs de voiture autonome ainsi que les chercheurs ont été proactifs sur ce sujet. De nombreux clips promotionnels sur des prototypes de systèmes d'interaction peuvent être consultés par le grand public. Les systèmes d'interaction proposés par les constructeurs se veulent novateurs : équiper la voiture d'yeux (Chang et al., 2016), de sourires, ou encore d'émoticônes. Au niveau de la recherche, différents fonctionnements de systèmes d'interaction ont été étudiés. Par exemple, Li et al. (2018) ont étudié l'efficacité d'un code couleur pour la perception de l'urgence. C'est également le cas de Rad et al. (2020) qui ont testé un système d'éclairage de la voiture autonome : jaune pour un piéton pris en compte, vert pour une voiture qui laisse passer et rouge pour une voiture qui ne s'arrête pas (danger). Même si ce système a été démontré comme informatif pour les piétons, la signification des différentes couleurs a prêté à confusion. Par exemple, la couleur rouge peut être interprétée comme un arrêt du véhicule ou un danger pour le piéton. D'autres chercheurs ont fait l'étude de systèmes plus aboutis. Mahadevan et al. (2018) font la comparaison de solutions visuelles, auditives et physiques. En ce qui concerne la forme, les résultats n'ont pas démontré une préférence particulière pour une modalité sensorielle. Au niveau du contenu, les informations jugées comme nécessaires sont la prise en compte du piéton et le comportement du véhicule. (Clamann et al., 2017) ont comparés des messages disposés sur le parechoc d'un van considéré comme autonome. Les messages indiquaient soit la vitesse du véhicule soit une indication sur la sécurité d'une traversée. Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'influence des messages sur le temps de prise de décision de traverser. Cependant, la présence d'un expérimentateur dans le véhicule a pu biaiser les résultats. L'équipe de De Clercq et al. (2019) a comparé deux messages (le piéton peut passer/le piéton ne peut pas passer) sous différentes formes : des points lumineux variant horizontalement (knight rider), du texte, une barre horizontale se transformant en sourire et une condition contrôle. Dans cette étude, la présence de systèmes d'interaction participe au sentiment de sécurité encourageant la traversée de rue. Cependant, certains types de messages nécessitent une phase d'apprentissage afin d'être compris.

Dans la présente étude, l'objectif est de concevoir un système d'interaction correspondant aux préférences et aux besoins des usagers. En faisant participer des piétons dans le processus

de conception, nous souhaitons obtenir des solutions intuitives ne nécessitant pas de phase d'apprentissage.

#### 4.2.1 *Méthode*

Les séances de créativité ont été organisées dans les locaux d'Ideas laboratory. En tant que living lab (Dell'Era & Landoni, 2014), Ideas laboratory dispose d'une smart room modulable pour le travail de groupe dans un objectif de création. Deux séances de créativité consistant chacune en trois phases (immersive, divergente et convergente) et une séance d'élaboration de prototypes ont été organisées. Lors de la préparation, il a été décidé d'écarter des systèmes d'interactions non viables (i.e. des messages textuels sont peu appropriés à un public illettré ou non natif de la langue du pays) et un répertoire de mouvements de la voiture autonome a été généré (la voiture est en mode autonome, la voiture fait marche arrière, la voiture est à l'arrêt, etc.).

##### 4.2.1.1 Première séance de créativité

L'objectif de cette première séance était de déterminer la forme et la nature de la communication entre une voiture autonome et un piéton. Dans la phase immersive, à partir d'un dessin animé de 6 minutes sur les voitures du futur, la consigne était de faire un croquis d'une voiture du futur en prenant en compte des besoins et usages à venir. La phase divergente consistait à trouver des analogies à partir de champs disciplinaires variés (cuisine, biologie, menuiserie, etc.) pour représenter des actions telles que laisser passer, s'arrêter, ralentir, accélérer, redémarrer, s'identifier, se garer, viser et cibler. Enfin, la phase convergente encourageait les participants à adapter leurs solutions précédentes sous la forme de messages de la voiture autonome. Ces systèmes d'interaction étaient présentés sous forme de poster explicatif. Parmi les 11 participants, il y avait des étudiants en master de Conception de produit, des étudiants en licence de Sciences et Design, des ingénieurs en transport et déplacement et en génie industriel. Le groupe était composé de huit hommes et de trois femmes avec une moyenne d'âge de 29 ans.

#### 4.2.1.2 Deuxième séance de créativité

Cette deuxième séance avait pour but d'axer sur des produits pouvant être manufacturés avec des technologies existantes. La phase immersive consistait à l'étude de différentes solutions imaginées par les constructeurs automobiles ainsi que des clips vidéo présentant des interactions problématiques entre véhicules et piétons. Les questions suivantes dirigeaient les phases divergente et convergente : comment faire pour que la voiture communique et/ou informe les piétons sur ses comportements immédiats ? Comment le piéton peut-il percevoir que la voiture a pris en compte son environnement ? Les participants réfléchissaient sur ce qui se fait avec des voitures traditionnelles, et ensuite imaginaient des solutions sur le croquis d'une voiture autonome. Six étudiants principalement en Design et en Architecture ont participé.

#### 4.2.1.3 Séance d'élaboration

Un groupe d'experts s'est réuni afin de convenir de deux systèmes d'interaction à partir des productions des deux séances de créativité. Pour ce faire, des critères ont été établis pour une utilisabilité maximale dans un contexte de traversée de rue par des piétons. Premièrement, il s'agissait de convenir d'un système visible par un piéton positionné sur le trottoir voyant arriver la voiture de loin. La position du système devait correspondre à l'endroit où le contact visuel avec un chauffeur humain est généralement établi. Deuxièmement, il s'agissait de considérer un système d'interaction dynamique qui s'adapte aux changements de la situation routière. Un processus dynamique est préconisé dans des environnements où les informations sont changeantes (Groff et al., 2014). Troisièmement, en vue de l'implémentation rapide sur un prototype, les experts devaient s'appuyer sur un système réalisable avec des technologies existantes. Enfin, le dispositif devait permettre de signaler le caractère autonome de la voiture. Huit experts ont été conviés pour une réunion de deux heures. Le groupe comprenait des conseillers scientifiques, des responsables innovations ouvertes, un directeur développement et mobilité, un chargé de projets de marketing de l'innovation, ainsi qu'un développeur en réalité virtuelle.

## 4.2.2 Résultats

### 4.2.2.1 Solutions de la première séance de créativité

La Figure 4 montre les propositions élaborées par les trois groupes formés lors de la première séance de créativité. La solution du premier groupe présente un véhicule rhomboïde avec des roues bidirectionnelles permettant au véhicule de prendre toutes les directions. Ce véhicule est équipé d'un panneau lumineux visible à 360° permettant d'afficher différents messages dans tous les sens et de cibler un piéton en particulier. Ce panneau lumineux peut afficher des gradations de couleurs ou des messages écrits.

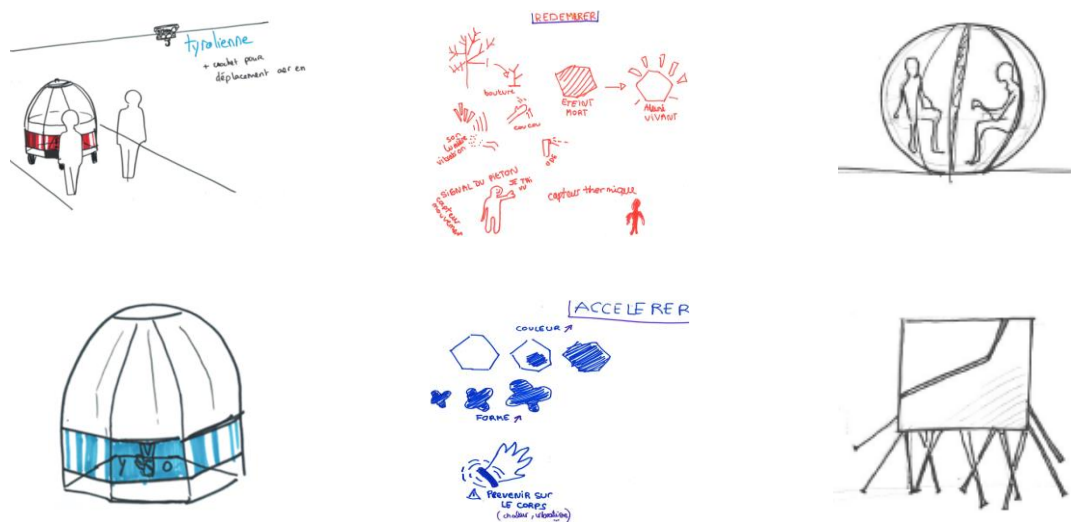


Figure 4. Propositions de la première séance (groupe 1 à gauche, groupe 2 au milieu, groupe 3 à droite)

Le deuxième groupe propose un véhicule modulaire et vertical pour un gain de place. Ce véhicule est équipé de différentes fonctionnalités pour communiquer sur son état. Pour le redémarrage, le véhicule passe d'un état éteint à un éteint lumineux et bruyant. La voiture peut dégager de la chaleur que d'autres voitures peuvent repérer grâce à des capteurs thermiques. Lorsque que le véhicule accélère, il communique avec les passages piétons qui vont émettre des bruits ou des odeurs désagréables à l'égard du piéton. La voiture est également munie d'un indicateur visuel qui change de taille selon la vitesse atteinte. Afin de cibler spécifiquement un piéton et lui indiquer qu'il est pris en compte, la voiture est dotée d'un miroir qui peut montrer

le reflet du piéton détecté. Ce miroir peut également afficher des émoticônes pour communiquer des émotions.

Le troisième groupe propose un véhicule doté de pattes d'une certaine hauteur pour se mouvoir dans toutes les directions et éviter des obstacles. Il émet un signal sonore désagréable ou un souffle de chaleur aux piétons qui enfreignent le code de la route. Il a un système d'interaction visuelle : une lumière verte clignotante signifie que le piéton peut passer. Enfin, le véhicule a la possibilité de gérer le flux de piétons en modulant la présence et l'absence de passages piétons.

#### 4.2.2.2 Solutions de la deuxième séance de créativité

La deuxième séance de créativité a récolté des solutions techniquement réalisables (Figure 5). Le premier groupe a proposé un véhicule muni d'un pare-brise qui fait office d'écran d'affichage de messages de la voiture. Le pare-brise représente l'environnement proche de la voiture, la localisation précise de la voiture est représentée par un point situé en son centre. La taille de ce point varie en fonction de la vitesse de la voiture : plus il grossit, plus la voiture accélère, à l'inverse plus il rétrécit, plus la voiture freine. Ce point peut se déplacer sur le pare-brise pour indiquer la direction du véhicule. Il bénéficie également d'un code couleur. Le point reste central et clignote orange lorsque la voiture va se garer, et il clignote vert lorsque le piéton a la priorité.

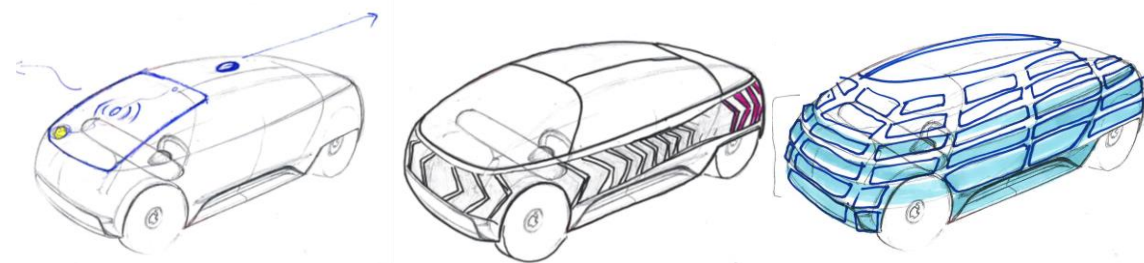


Figure 5. Propositions de la deuxième séance (groupe 1 à gauche, groupe 2 au milieu, groupe 3 à droite)

Le deuxième groupe propose une animation située sur le pourtour du véhicule. Cette animation représente l'air qui passe autour de la voiture lorsqu'elle se déplace. La voiture

communiquent sur sa direction et sa vitesse. Les flèches qui apparaissent renseignent sur la direction de la voiture. Plus la vitesse est élevée, plus ces flèches sont pointues et défilent vite. Lorsque le véhicule est à l'arrêt, l'animation présente des bâtons verticaux et statiques. Un code couleur est établi selon les états du véhicule : blanc pour la voiture en circulation, vert pour la détection de piétons, et rouge foncée pour le freinage (clignotante pour un freinage intensifié). La couleur orange est réservée aux clignotants pour les changements de direction.

Le troisième groupe fait la présentation d'une voiture qui s'illumine entièrement pour communiquer des messages. L'illumination recouvre progressivement la voiture de bas en haut selon sa vitesse. Plus la voiture est illuminée plus sa vitesse est importante, et est également renforcée avec un code couleur : vert pour une faible vitesse, rouge pour une vitesse élevée, et blanc pour indiquer au piéton qu'il a la priorité.

#### 4.2.2.3 Solutions de la séance d'élaboration

Le groupe de huit experts s'est appuyé sur les critères définis en amont pour décider du contenu et de la forme finale des systèmes d'interaction de la voiture autonome. Premièrement, concernant le type de solution technique, un écran de forme rectangulaire a été choisi pour diffuser des messages visibles de loin. Deuxièmement, deux types de contenus ont été retenus et décrits par les experts : information « la vitesse du véhicule a un but informatif, l'interface permettra d'indiquer une accélération ou une diminution de la vitesse. » et conseil « l'indication sur la priorité du piéton fera office de conseil, le code couleur des feux piétons sera utilisé : vert pour indiquer une priorité au piéton et rouge pour refus de priorité. ». Et enfin, concernant la forme, ces messages seront semblables aux panneaux à messages variables disponibles dans l'infrastructure routière, i.e. sous forme de symboles et d'affichage numérique. La figure 6 montre une illustration élaborée par l'animatrice de la séance.



Figure 6. Prototypes des deux systèmes d'interaction de la voiture autonome

#### 4.2.3 Conclusion

Le processus de créativité a permis de mettre en évidence plusieurs ébauches de systèmes et de solutions d'interaction variées. Ces solutions diffèrent à la fois sur la localisation du système d'interaction par rapport à la voiture (sur la voiture ou dirigé vers l'extérieur de la voiture) et de la surface de la voiture utilisée. Elles se distinguent également par le caractère statique et dynamique. Les solutions finales proposées rejoignent les différentes propositions commerciales des constructeurs de la voiture autonome. Les deux systèmes d'interaction retenus sont des messages sur un écran d'information situé sur le toit de la voiture autonome. Le message affiche soit une information sur la vitesse de la voiture avec une indication sur son accélération ou son freinage, soit un conseil sur la conduite du piéton à tenir vis-à-vis de la voiture (priorité ou refus de priorité). Ces deux systèmes d'interaction se retrouvent étudiés dans la littérature comme étant deux types d'informations pertinentes établies par des focus groupes (Ackermann et al., 2019). Les solutions obtenues par le biais du *participatory design* correspondent aux solutions étudiées dans la littérature scientifique.

### 4.3 Etude de la compréhension des systèmes d'interaction

Dans une étude de la compréhension, nous cherchons à déterminer si les messages permettraient des comportements conformes au code de la route. En effet, l'objectif de ces systèmes d'interaction est de permettre aux piétons d'interagir avec une voiture conduite par

une machine. On considère que cette interaction est efficace si le piéton comprend et perçoit le contenu des messages émis par la voiture autonome. Cependant, des messages conçus par un groupe de personnes peuvent être sujets à des interprétations individuelles différentes (De Vries & Masclat, 2013). De plus, on peut se poser la question de la validité des solutions de communications pour un objectif donné. En effet, une même représentation peut amener à différents raisonnements individuels (De Vries, 2011; De Vries & Masclat, 2013), il est donc nécessaire de s'assurer que les solutions amènent aux comportements attendus. Il s'agit d'évaluer l'utilisabilité de ces systèmes par la qualité de la compréhension des utilisateurs. Pour évaluer la compréhension nous allons nous référer au code de la route. Ainsi, nous attendons d'une bonne compréhension des systèmes d'interaction, que les décisions et les comportements qui en résultent soit en accord avec ce que préconise le code de la route.

L'évaluation de la compréhension peut s'organiser selon plusieurs méthodes. Wolff & Wogalter, (1998) ont comparé une évaluation de la compréhension de symboles routiers en faisant varier le contexte (avec et sans représentation d'un environnement contextuel) et la méthode d'évaluation (question ouverte et questions à choix multiples). La présence de contexte facilite la compréhension, cependant ce résultat est modulé par le nombre de réponses possibles dans les questions à choix multiples. Dans notre étude, nous comparons la compréhension des systèmes d'interactions de façon isolée sous forme d'images avec des questions ouvertes et de manière contextualisé sous forme de vidéos avec des questions à choix multiples. Les questions ouvertes avec des images non contextualisées vont permettre de recueillir des descriptions libres et isolées. De cette façon, nous pourrions apprécier la nature et la quantité de propositions explicatives alternatives. Les vidéos contextualisées avec un choix de réponses imposé pourront récolter des réponses spontanées telle qu'attendue dans un contexte routier pressant.

Les systèmes d'interaction obtenus représentent la vitesse du véhicule par des valeurs numériques. La priorité du piéton est représentée par des icônes de feux piétons avec un code couleur associé. Cette dualité correspond à des représentations figuratives et descriptives. Les



représentations descriptives utilisent des symboles qui n'ont pas de lien avec la forme physique d'un objet, comme par exemple la représentation de la vitesse de la voiture par des chiffres. Les représentations figuratives ont des similarités avec les objets de référence, cette définition correspond au système d'interaction utilisant les feux piétons. La littérature (Schnotz et al., 2010) s'accorde à dire que les représentations descriptives sont adéquates pour la prédiction d'évènements, ou encore pour orienter l'attention d'un individu. Les représentations figuratives quant à elles facilitent davantage la compréhension de scénarios ou d'évènements. En effet, selon le modèle intégratif de compréhension de texte et d'image de Schnotz & Bannert, (2003), une représentation figurative est plus facilement assimilable à une représentation interne. De plus, les représentations ayant une similarité physique avec l'objet de référence améliorent la compréhension (Shinar et al., 2003). Nous faisons donc l'hypothèse que le système d'interaction qui conseille dispose de plus d'éléments permettant une meilleure compréhension que le système qui informe.

#### *4.3.1 Méthode*

##### 4.3.1.1 Echantillon

201 participants ont été recrutés contre rémunération financière au sein de l'UFR de Sciences Humaines et Sociales d'une université française. L'échantillon avait une moyenne d'âge de 22.08 ans, avec un écart-type de 5.70 ans, pour une étendue de 19-64 ans avec 80% de femmes. 84.6% ont indiqué avoir obtenu le code de la route, 72.1% ont obtenu le permis B dont 55.2% en permis probatoire.

##### 4.3.1.2 Deux systèmes d'interaction de la voiture autonome

Un développeur en informatique s'est chargé de numériser les deux systèmes d'interaction retenus pour des véhicules autonomes en réalité virtuelle (Figure 7). Le premier système informe le piéton en indiquant la vitesse du véhicule en temps réel. Une absence de flèche indique une vitesse constante. Une flèche jaune montante indique une accélération, une flèche jaune descendante indique un freinage. Le deuxième système conseille le piéton à l'aide

d'icônes similaires aux feux piétons : Un panneau de signalisation avec un point d'exclamation indique un danger (faire attention), un feu vert indique la priorité au piéton (traverser), un feu rouge indique un refus de priorité (ne pas traverser).



Figure 7. Deux systèmes d'interaction Information (vitesse) et Conseil (feux piétons)

#### 4.3.1.3 Contextualisation et modalité de réponse




La compréhension a été mesurée à partir d'images (hors contexte) et à partir de vidéos (de façon contextualisée). Pour la compréhension à partir d'images, trois questions ouvertes ont été posées pour chacune des six images de la Figure 7 : 1) Qu'est-ce que cela représente ? 2) Qu'est-ce que la voiture veut vous communiquer par cet affichage ? et 3) Qu'est-ce que cela implique pour vous en tant que piéton ?

Neuf vidéos ont été réalisées en réalité virtuelle : six vidéos pour chacune des images de la Figure 7 et trois vidéos pour la condition contrôle avec une voiture sans système d'interaction à allure constante, en accélération, et en décélération. Chaque séquence vidéo est prise du point de vue d'un piéton sur le trottoir voyant arriver une voiture autonome. La vidéo se termine avant que la voiture n'arrive à la hauteur du piéton. Pour la compréhension à partir de vidéos, trois questions à choix multiples ont été posées pour chacune des neuf vidéos. Les questions concernaient le changement de vitesse, la priorité et la décision de traversée : 1) Dans cette vidéo, la voiture autonome voudrait m'indiquer que... (Elle ralentit, Elle accélère, On ne peut pas le déterminer, Autre (précisez)). 2) Dans cette vidéo, la voiture autonome voudrait m'indiquer que... (Elle me laisse passer, Elle ne me laisse pas passer, On ne peut pas le déterminer, Autre (précisez)). 3) Par rapport à la situation que vous venez de visionner, quelle action entreprendriez-vous en réponse ? (Je traverse, Je ne traverse pas, Autre (précisez)).

#### 4.3.1.1 Mesure de la compréhension

Pour les questions ouvertes comme pour les questions à choix multiples, les réponses ont été jaugées dans trois catégories par rapport 1) au changement de la vitesse de la voiture, 2) aux feux piétons et/ou la priorité et 3) à la décision de traversée (tableau 6). Pour les questions ouvertes, une grille d'analyse a permis de relever les unités correspondant dans chaque catégorie (Chi, 1997). Pour les questions à choix multiples, il s'agit des alternatives de réponses. Un point est obtenu pour chaque bonne réponse. Ainsi, le score de compréhension va de 0 à 3 dans chaque catégorie (addition des trois comportements).

Tableau 6. Réponses correctes selon le code de la route pour les deux systèmes d'interaction et la condition contrôle pour les questions ouvertes (QO) et les questions à choix multiples

Comportement	Catégorie		
	Changement de vitesse	Priorité	Décision
Vitesse constante 	On ne peut pas le déterminer Autre Vitesse constante (QO)	Elle ne me laisse pas passer On ne peut pas le déterminer Autre Danger (QO)	Je ne traverse pas
Accélération 	Elle accélère La vitesse augmente (QO)	Elle ne me laisse pas passer Feu rouge (QO)	Je ne traverse pas
Décélération 	Elle ralentit La vitesse diminue (QO)	Elle me laisse passer Feu vert (QO)	Je traverse

#### 4.3.1.2 Procédure

Les participants étaient accueillis dans une salle et dirigés vers un poste informatique désigné par un numéro d'anonymat, et signaient un formulaire de consentement. La première partie consistait à un test de lecture de chiffres (pour la détection du daltonisme). La deuxième partie présentait le contexte de l'étude. Les participants répondaient alors aux deux questionnaires de compréhension. Pour les questions ouvertes à partir d'images, les deux systèmes d'interaction étaient contrebalancés. Pour les questions à choix multiples à partir des vidéos, les neuf vidéos ont été passées dans deux ordres prédéterminés. Enfin, les participants répondaient à quelques questions démographiques et une page de débriefing clôturait la séance. Les participants obtenaient un bon pour leur rémunération.

### 4.3.2 Résultats

#### 4.3.2.1 Compréhension hors contexte à partir d'images

A l'aide de la grille d'analyse, nous avons d'abord relevés des réponses alternatives originales. Celles-ci sont variées pour le système Information (vitesse). Le message sur la vitesse du véhicule a été confondu avec l'indication d'une vitesse maximale, une durée ou une consommation de carburant. Par ailleurs, les flèches montantes et descendantes ont été parfois perçues comme un changement de direction de la voiture. Les messages du système Conseil (feux piétons) n'ont pas suscités d'interprétations déviantes.

Le tableau 7 résume les scores de compréhension pour les deux modalités d'évaluation de la compréhension des systèmes d'interaction. Les questions ouvertes n'ont pas incitées de réponses dans chaque catégorie (moyennes proches de zéro). Ainsi, des feux piétons ou la priorité ne sont pas mentionnés lorsque la voiture affiche des chiffres, et inversement, des changements de vitesse ne sont pas mentionnés lorsque la voiture affiche des feux piétons. Le système Conseil (feux piétons) résulte en un score très élevé de compréhension. En effet, le pourcentage de bonnes réponses est supérieur à 94% pour les trois comportements (triangle de danger, le feu rouge, et le feu vert). Le système Information (vitesse) a été compris un peu moins bien (90% pour la vitesse constante, 60% pour l'accélération et 60% pour la décélération). Enfin, les réponses concernant les décisions de traverser sont davantage en accord avec les règles du code de la route pour le système Conseil que pour le système Information ( $t(200) = -18.051, p < .000$ ).

Tableau 7. Moyennes (écart type) des scores de compréhension

		Changement de vitesse	Priorité	Décision de traversée
A partir d'images	Information (vitesse)	2.10 (1.05)	0.01 (0.14)	1.69 (0.99)
	Conseil (feux piétons)	0.00 (0.00)	2.89 (0.32)	2.95 (0.24)
	Contrôle	1.49 (0.62)	1.66 (0.67)	2.08 (0.45)
A partir de vidéos	Information (vitesse)	2.88 (0.36)	2.22 (0.62)	2.24 (0.49)
	Conseil (feux piétons)	1.74 (0.62)	2.86 (0.37)	2.68 (0.49)

#### 4.3.2.2 Compréhension en contexte à partir de vidéos

Une analyse de variance a été réalisée pour les trois catégories de réponse avec le système d'interaction en intra sujets. L'effet du système d'interaction était significatif pour toutes les catégories (changement de vitesse de la voiture ( $F(2,199)=422.634$ ,  $p<.005$ ), feux piétons/priorité ( $F(2,199) = 274.628$ ,  $p<.005$ ), décisions de traverser ( $F(2,199)=98.489$ ,  $p<.005$ )). Par ailleurs, les paramètres testés suivent le contraste d'Helmert (contrôle versus les deux systèmes d'interaction et les deux systèmes entre eux). Les contrastes étaient significatifs. Le tableau 1 montre que les deux systèmes obtiennent de meilleurs scores de compréhension que l'absence de système. Le système Information (vitesse) permet le mieux d'apprécier le changement de vitesse, alors que le système Conseil permet de mieux comprendre la priorité du piéton. Les deux systèmes d'interaction renseignent mieux qu'une absence de message, et chaque système d'interaction est approprié dans sa catégorie de messages visés (information ou conseil).

#### 4.3.3 Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer la compréhension de système d'interactions de la voiture autonome. Bien que ces systèmes furent créés avec l'intention de communiquer tout un ensemble d'information sur le comportement de la voiture, les résultats montrent que les messages des systèmes renseignent bien sur le comportement de la voiture qu'ils illustrent. Cependant, le système d'interaction qui informe avec la vitesse du véhicule obtient plus d'interprétations alternatives que le système qui conseille. Les feux piétons étant présentement des messages à l'attention des piétons, un effet de familiarité peut expliquer ce plus grand score de compréhension et le nombre plus faible d'interprétation de sa signification (Ben-Bassat & Shinar, 2006). De plus, le système qui conseille est le plus pertinent pour des décisions de traverser en accord avec le code de la route. Un système d'interaction possédant des éléments familiers et qui permet de construire un raisonnement de manière rapide pour une prise de décision immédiate semble le plus approprié pour l'environnement routier.

Il a quelques limites à prendre en compte pour cette étude. Il est très difficile de pouvoir séparer la forme et le contenu pour des dispositifs de communication homme-machine. Ainsi, dans cette étude, l'analyse de ces deux dimensions a été réalisée simultanément sans croiser les variables et les modes d'évaluation.

Une comparaison entre la compréhension de systèmes d'interaction et les comportements de décision associée pourrait davantage compléter nos résultats.

#### **4.4 Conclusion générale**

La démarche proposée dans cette étude se décompose en deux parties. Une partie de création et une partie d'évaluation de compréhension. Cependant, l'évaluation de la compréhension en tant que vérification de l'utilisabilité des systèmes d'interactions est une première étape dans le processus. Les concepts d'utilité et d'acceptabilité complètent l'évaluation de solutions. Une prochaine étude pourrait considérer une évaluation complète des systèmes d'interactions.

Pour parfaire notre démarche de conception et d'évaluation, il s'agirait de pouvoir observer les comportements d'usage de ces systèmes d'interaction en utilisant les méthodes de la réalité virtuelle dans un environnement réaliste et immersif.

L'enjeu des interactions homme-machine et plus particulièrement les interactions piétons-voiture autonome est de pouvoir trouver une solution de communication qui peut se substituer aux interactions entre humains tout en étant la plus intuitive possible. En effet, certaines interactions informelles entre chauffeur et piétons sont maintenant ancrées, comme devenues une extension d'un répertoire d'information du comportement des voitures. On peut imaginer un système d'interaction capable de communiquer en toutes circonstances et modulable pour tout évènement en remplacement aussi polyvalent qu'un conducteur humain.

## Chapitre 5 Inform or advice? A virtual reality study of message content for road crossing in front of autonomous cars<sup>4</sup>

*A partir des messages de la voiture autonome présentés dans le chapitre précédent, ce cinquième chapitre présente une étude empirique en utilisant la réalité virtuelle. Les participants sont mis en situation de traversée de rue en présence de voitures autonomes équipées de systèmes d'interaction. Des voitures traditionnelles sont également présentes, les configurations de l'infrastructure routière sont les mêmes que pour l'étude du troisième chapitre et trois scènes de rue sont proposées. Le nombre de décisions de traversées et le sentiment de sécurité sont recueillis. Les deux systèmes d'interactions sont comparés et les implications pour l'éducation à la sécurité routière sont discutées. Ce chapitre correspond à un article accepté pour publication dans la revue Le Travail Humain écrit en anglais.*

**Summary.** With a view to road safety education and accident prevention, the study of the interaction between autonomous cars and pedestrians cannot be postponed until actual introduction in the public space. In this study, we proactively investigate road crossing decisions in virtual reality. The objective is to determine the influence of message content displayed by autonomous cars on road crossing decisions and feeling of safety. Focus groups resulted in two different message contents: information about the speed of the car and advice about desired behaviour (pedestrian traffic light). In a virtual reality study, the two message contents were compared to a gear-only control condition and to a human-operated car. The procedure involved 24 crossing decisions in road configurations varying in the likelihood of crossing according to traffic rules. The results showed that road crossing behaviour in virtual reality complied with the likelihood of crossing according to traffic rules (pedestrian rule compliance). Furthermore, as expected, we found an interaction between the type of car and message content in underdetermined road crossing situations. Positive crossings decisions were the least frequent in front of autonomous cars in the pedestrian traffic light (advice) condition. Thus, advice as message content generates cautious pedestrian road crossing behaviour. Finally, the results show a high feeling of safety except when pedestrian traffic lights were absent (present neither as object in the road configuration nor as message content). The results and implications for road safety education are discussed.

**Keywords.** road safety, virtual reality, autonomous cars, crossing decisions, message content, pedestrian

**Résumé.** Dans une perspective d'éducation à la sécurité routière et de prévention des accidents, l'étude de l'interaction entre la voiture autonome et le piéton ne peut attendre son introduction sur la voie publique. De manière proactive, cette étude s'intéresse à la décision de traversée en réalité virtuelle. L'objectif est de déterminer l'influence d'un message affiché par une voiture autonome sur la décision de traversée et le sentiment de sécurité. Deux types de message ont été créés lors de focus groupes : des

---

<sup>4</sup> Ce chapitre fait l'objet d'un article écrit en anglais accepté pour publication dans la revue du Travail Humain

informations sur la vitesse du véhicule et des conseils sur le comportement approprié (par des feux piétons). En utilisant la réalité virtuelle, ces deux types de messages ont été comparés à une voiture autonome sans messages (condition contrôle) et à une voiture opérée par un humain. La tâche consistait à prendre 24 décisions de traverser dans des situations différentes au regard de la configuration de l'infrastructure routière. Les résultats montrent que le comportement de traverser en réalité virtuelle se conforme aux règles du code de la route (conformité aux règles). De plus, une interaction entre le type de voiture et le type de message a été observée lorsque l'infrastructure routière ne dispose pas de feux piétons. Les décisions de traverser sont moins fréquentes devant une voiture autonome affichant des feux piétons (condition conseil). De ce fait, on peut dire que le conseil amène à davantage de prudence lors des décisions de traverser. Enfin, les résultats montrent un sentiment de sécurité élevé sauf dans le cas où les feux piétons sont absents (que ce soit sous forme d'objet dans la situation ou de message de la voiture autonome). Les résultats et des implications pour l'éducation à la sécurité routière sont discutés.

**Mots-clés.** sécurité routière, réalité virtuelle, voiture autonome, décision de traversée, type de message, piéton

## 5.1 Introduction

The presence of autonomous vehicles in regular traffic raises many issues regarding their interaction with road users, such as pedestrians, cyclists and drivers of other vehicles. In the future, fully autonomous cars may become part of a complex socio-technical system and thus will have to interact with road users in a socially acceptable manner (Müller et al., 2016). This is particularly important in situations requiring communication to ensure safe outcomes, such as pedestrians making the decision whether or not to cross a street. Schieben et al. (2018) carried out semi-structured interviews in order to identify the communication needs of traffic participants interacting with automated vehicles. The four identified categories comprised information about current driving mode (automation status), manoeuvres (accelerating, turning, etc.), perception of the environment (detection of a specific user) and cooperation capabilities (an equivalent of eye contact or gestures). Different options may satisfy these needs, such as the design of the street infrastructure, the vehicle shape and behaviour, and finally, the design of specific external Human-Machine Interaction (HMI) messages for visual and acoustic communication. HMI design aims at facilitating crossing decisions and enhancing pedestrians' feelings of safety. The study of informational needs and feeling of safety (Dey et al., 2017; Granié et al., 2014; Walker et al., 2019) with automated vehicles relies on questionnaires to potential road users. For instance, Merat et al. (2018) recruited 664



participants in three European cities during live demonstrations of Automated Road Transport Systems (ARTS). Regardless of road configuration, in order to feel safe, pedestrians indicated a need for information about the vehicle's movement (turning or stopping) and about acknowledging their detection as a road user. However, no clear patterns arose as to preferred modes of interaction with automated vehicles.

In this contribution, we set out to design message content for the interaction between autonomous cars and pedestrians crossing a street. We then investigated the effect of the designed message content on road crossing decisions and feeling of safety in a virtual reality environment as a method for the proactive study of pedestrian-autonomous-vehicle interaction (Rasouli & Tsotsos, 2018).

#### *5.1.1 Factors influencing road crossing decisions*

The psychological model of road crossing behaviour (Tom et al., 2008) comprises four steps in deciding when to cross: 1) visual exploration of the scene, 2) selection of relevant information, 3) analysis of the situation, and 4) decision to cross or not. The model highlights the sequential nature of decision-making; perceptual processes are more important in the earlier stages and cognitive processes in the later stages. Furthermore, road crossing decisions are influenced by characteristics of the built environment. Indeed, pedestrians are more prone to cross in the city centre with shops and walking facilities (Granié et al., 2014). Moreover, Cambon de Lavalette et al. (2009), in their situational and behavioural approach, focus on the constraints regulating road crossing decisions. Most pedestrians cross the road in accordance with road safety regulations by observing zebra crossings and pedestrian traffic lights, i.e., pedestrians exhibit traffic rule compliance (Bergeron et al., 2008; Tom and Granié, 2011). Road infrastructure constitutes relevant information contributing to the decision-making process and feeling of safety. Finally, crossing decisions depend on the speed and trajectory of the oncoming car and on interaction with the driver. Although pedestrians report that their willingness to cross the road relies on eye contact with the driver (Lundgren et al., 2017),

research shows that the dynamics of the oncoming car are also important (AlAdawy et al., 2019; Dey & Terken, 2017).

In order to cross the street safely, a pedestrian evaluates the risk associated to the decision which highly depends on beliefs (Kouabénan, 2007) and available information. The press reports both risk increasing factors, such as accidents and dysfunctions of autonomous vehicles, and risk decreasing factors, such as technical details and the reliance on artificial intelligence. Verberne et al. (2012) studied the trustworthiness of new smart driving technology, such as adaptive cruise control (ACC). The results showed that, similar to trust in other humans, trust in smart systems depends on the degree to which these systems provide information to their users. Trustworthiness of new technology might be important in determining future behaviour of pedestrians making crossing decisions in front of automated vehicles.

The uncertainty regarding the type of communication needed between pedestrians and autonomous vehicles requires new methodologies for the proactive study of road crossing decisions. In a study involving the Wizard of Oz method, Habibovic et al. (2016) found that pedestrians are less willing to cross the street when no driver is visible behind the wheel, and feel calmer when eye contact is possible. In order to formulate the requirements for automated vehicles, Schneemann & Gohl, (2016) investigated driver-pedestrian interaction patterns in crossing decisions in front of a human-operated car in open traffic as a function of the speed of the vehicle and the presence or absence of zebra crossings. Amongst others, the results showed a significant influence of the speed of the car on crossing decisions. Moreover, the results showed pedestrians and drivers displaying typical behavioural patterns when interacting with each other at crosswalks, such as drivers reducing speed or gesticulating and pedestrians searching gaze contact. The authors concluded that alternative communication techniques are required in order to substitute for the presence of the driver.

### 5.1.2 *Form and content of messages of the autonomous car*

Different HMI designs for communication between autonomous vehicles and road users have been investigated. For example, as driverless autonomous cars lack the possibility of eye contact, Chang et al. (2016) used eyes in the interface design to communicate the car's manoeuvres. When the car was going to stop, its eyes "looked" at the pedestrian. In a virtual reality environment, participants made crossing decisions in front of a stopping car either with or without eyes on its headlights. Eyes on the car allowed making correct crossing decisions more quickly and scored higher in terms of feeling of safety. However, such a device may be limited in preventing jaywalking, as it emits no explicit indication of safe crossing.

Colour coding is another solution for communicating in dangerous situations. Li et al. (2018) designed an urgency-based display on front, side and top of an autonomous vehicle with green for safe, orange for alert, and red for danger. Participants provided open-ended answers as to whether they would start crossing the street in a contextualized situation, e.g., a simple street scene by day or night without zebra crossings or pedestrian traffic lights. Urgency ratings in both decontextualized and contextualized situations showed accurate perception of urgency corresponding to the colour code. Although this shows that colour coding informs on the level of urgency, the study provides no evidence on actual road crossing behaviour in different road configurations.

Other studies investigated more explicit messages for providing information. Such messages may vary in *form* (e.g., audio, text, symbols, animations, or anthropomorphic artefacts) or in the type of informational *content* (e.g., information, warning, advice, etc). Mahadevan et al. (2018) developed four prototype situations based on the outcomes of a participatory design session with ten participants. These situations included 1) both visual (LED strip) and auditory (speaker) cues on the vehicle, 2) a vehicle with auditory cues and a street infrastructure with visual cues (LED lights), 3) a vehicle with visual cues (animated face) and a pedestrian carrying haptic cues (vibrating phone), and 4) a mixed situation with a visual cue on the vehicle (printed hand) and in the street (LED lights) and an audio cue on the

pedestrian (phone). The four prototypes were compared to a baseline situation in which the movement of the vehicle was the only source of information. On a closed parking lot, pedestrians made crossing decisions in front of either a car or a Segway and indicated their preferences. The results were mixed, but all four prototypes were preferred over the baseline situation. Thus, the study shows the importance of the vehicle communicating explicit information of its awareness and intent. However, the small sample size and limited number of crossing decisions do not allow generalizations about actual crossing behaviour. Moreover, as the prototypes were a mixture of different features, systematic study of the effect of individual features was not feasible.

De Clercq et al. (2019) studied different forms of HMI in a virtual reality traffic environment: baseline, front-brake-lights, knight-rider, smiley and text (walk, don't walk). Each HMI design consisted of two message contents, one for yielding and one for non-yielding. Participants continuously indicated whether they felt safe to cross using a handheld button. Results showed that text messages were the least ambiguous and needed less learning time. For non-yielding vehicles, participants felt equally safe in all conditions. For yielding vehicles, participants felt safer in HMI conditions compared to the baseline condition, but no difference between the four HMI conditions was found.

Ackermann et al. (2019) distinguished two types of content: information on the vehicle status versus advice to the pedestrian. They compared different HMI combinations by varying technology (LED display, Projection, LED Light strip), position (windscreen, radiator grille or street surface), coding (text, symbol) and type of content (information or advice). Participants watched videos and rated each of the conditions on recognisability, unambiguousness and intuitive comprehensibility of the message. The results showed that advice to the pedestrian, such as the text "go ahead", was preferred over information about the vehicle status, such as the text "automatic mode". This study used only self-report ratings, not observations of actual pedestrian road crossing behaviour.

Similar message contents, information and advice, were also tested in a real street environment with an equipped van (Clamann et al., 2017). The advice condition consisted of pedestrian traffic light icons and the information condition consisted of a display of the speed of the car in digits. Decision times for crossing the street with these displays were compared to a black screen and to a control condition with no display. Participants made crossing decisions either at a crosswalk (with a zebra crossing) or at a midblock (no zebra crossing) and the speed of the car was either 24 or 40 km/h. During debriefing, only 12% of participants said that they took into account the displays in their crossing decisions. This could explain the absence of an effect of display condition. In fact, given that this was a real life study, a human driver was present in all conditions. Thus, telling the participants that the driver was only collecting data, and not in control, may have reduced their belief in the actual autonomy of the vehicle and downgraded the relevance of the display. Virtual reality, as a tool for simulating autonomous cars without a driver, might help overcome such problems.

In the latter study, form and content were both manipulated resulting in advice in icons and information in digits. In effect, the design space of potential HMI variants is very large and it is often not feasible to study all combinations of all levels of the three factors of technology, form and content systematically. Amongst the options, visual HMI elements in the form of symbols, icons or digits seem to be preferable over textual or acoustic elements. No language skills are necessary to understand such messages and pedestrians clearly recognize that the automated vehicle is emitting information that concerns them.

### *5.1.3 Using virtual reality in the study of road crossing decisions*

Whenever real-life situations are too dangerous for inexperienced users, virtual reality environments can be exploited for teaching and training purposes. For example, in studies on pedestrian safety, children were able to learn safe road crossing behaviour in a virtual reality environment (McComas et al., 2002; Schwebel et al., 2016). Indeed, virtual reality allows training for new procedures and acquired procedures are memorized and stored in long term

memory so that they can be executed later in real life situations (Ganier et al., 2013). The characteristics of virtual reality, such as immersion, presence and realism, make it especially suitable for ergonomic purposes. In particular, virtual reality is of notable value in the design of new tools or new work places provided that the results are validated in real life situations (Burkhardt, 2003; Ganier et al., 2014).

Deb et al. (2018) studied road crossing behaviour in a virtual reality setting. Participants wore a virtual reality headset and performed 60 road crossing trials in various situations involving stationary and moving vehicles, which did or did not violate traffic rules. The position and the orientation of the pedestrian's head, walking speed and crossing time, and the number of collisions with cars were recorded and compared to published norms. The results showed pedestrian behaviour in the virtual reality environment to match behaviour in the real world. Furthermore, subjective measures indicated that the virtual environment was realistic and engaging. The authors positively concluded on the effectiveness of virtual reality technology for research on road crossing behaviour.

#### *5.1.4 The current study*

The current study aimed to investigate the influence of message content on crossing decisions and feeling of safety in a virtual reality environment. The design of the message content took place in focus groups that provided the conditions for the emergence of original ideas through panels of road users reflecting on a user-centred view of practical solutions (Kitzinger et al., 2004). The resulting ideas resembled the design solutions from Clamann et al. (2017): informing pedestrians about the state of the car (displays current speed) and advising pedestrians whether it is safe to cross the street (displays a pedestrian traffic light). Accordingly, two message content designs were developed (speed and pedestrian traffic light), which were compared to a gear-only control condition (see Figure 8 and Table 8). Thus, the experimental design involved three independent variables: one between-subjects variable message content (control, speed, pedestrian traffic light) and two within-subjects variables car

(human-operated, autonomous) and likelihood of crossing according to traffic rules (very unlikely, unlikely, likely, very likely). Road crossing decisions and feeling of safety were recorded in three different street scenes.

First, we sought to reproduce pedestrian rule compliance in virtual reality. Road infrastructure, such as zebra crossings and pedestrian traffic lights, should foster positive crossing decisions and feeling of safety especially when pedestrian have the right of way.

Second, regarding the type of car, due to the relative unfamiliarity of the autonomous car, we expected less positive crossing decisions and lower feeling of safety in front of autonomous cars as compared to human-operated cars. Individual differences in trustworthiness of the autonomous car could explain such an effect of type of car. Regarding message content, we expected an interaction effect between type of car and message content. In front of a human-operated car, we expect comparable percentages of positive crossing decisions across the three message content conditions. Regarding the autonomous car, in reference to Tom et al.'s (2008) model, information about the speed of the car could strengthen perceptual processes in the earlier stages. Furthermore, advice to the pedestrian is expected to draw attention to road traffic rules as an important constraint in the crossing decision (Cambon de Lavalette et al., 2009). Thus, in front of an autonomous car, we expected fewer positive crossing decisions in the control condition (gear only, no message) as compared to the speed condition. We expected the largest number of positive crossing decisions in the pedestrian traffic light condition. The heightened presence of traffic rules through the icons in the pedestrian traffic light condition was also expected to produce high feeling of safety.

## 5.2 Method

### 5.2.1 *Design of message content in focus groups*

Between five and nine participants took part on a voluntary basis in two focus groups (Kitzinger et al., 2004) for designing message content for autonomous cars in prospective road environments. For the first group, the objective was to find ways to depict the following actions: give right of way, stop, slow down, accelerate, start, identification of a specific object, park, and designation of a specific target. For the second focus group, the questions concerned the contextualized communication between autonomous cars and pedestrians. A focus group session consisted of an immersion phase, followed by divergent and convergent phases. In the immersion phase, cartoons with cars of the future were presented to introduce the context. In the divergent phase, questions focused on an out-of-context topic, such as biology. In the convergent phase, participants dealt with the context of autonomous cars. Eight communication systems were imagined and then classified according to three criteria: the location (on the car, projection on the outside), the size on the car (partial, full), and animation style (static, dynamic). Based on the results, industrial experts formulated specific conditions for the final displays: replace eye contact, limited location on the car, able to be read quickly and understood by speakers of other languages, initiate pedestrian action, acknowledgement of pedestrian presence, importance of displaying future behaviour of the car and appropriate behaviour of the pedestrian. Two message contents were further developed: 1) information on the speed of the vehicle with displays to road users in all directions and 2) advice to the pedestrian with a pedestrian traffic light faced towards the pedestrian in front of the vehicle. Thus, as shown in Table 8, the two HMI conditions varied in content (information vs advice), as well as in form (digits vs icons).



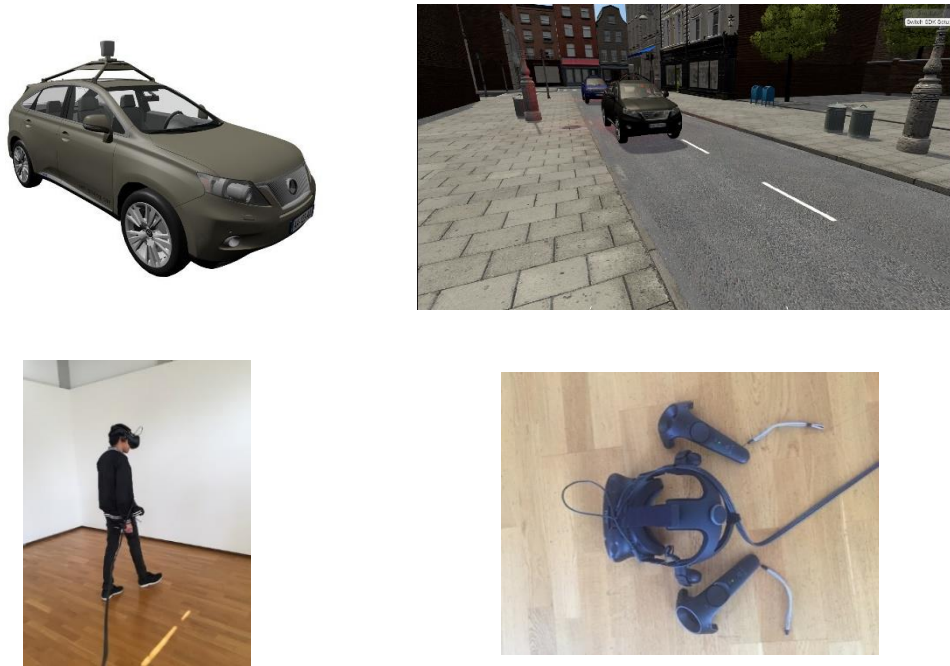


Figure 8. The experimental setting: an autonomous car with gear on the roof, a crossing situation in a street scene, and the virtual reality equipment


















### 5.2.2 Participants

Participants were recruited through a post on bulletin boards at an innovation think tank and industrial platform. The post mentioned a virtual reality study on prospective road safety for one hour with no compensation. 84 participants took part in the study, with a mean age of 40.1 years ( $SD = 14.41$ ) and 40.5% female. The level of knowledge on the autonomous car was assessed, revealing 2.4% who had never heard of autonomous cars, 33.3% who had a vague idea, 56% who were interested, and 8.3% who had already seen or tried an autonomous car. About half of the sample (45.2%) had experienced virtual reality before (35.7% novices, 50% beginners, 11.9% intermediates, 2.9% experts). Upon arrival, participants were randomly assigned to one of three groups. Due to an attribution error, the resulting groups had a slightly different number of participants: control ( $n = 28$ ), speed ( $n = 27$ ), pedestrian traffic light ( $n = 29$ ).

### 5.2.3 Experimental design

Three HMI conditions were created: a control (roof gear only) and two message content conditions with information and advice. The information content presented the actual speed of the autonomous car in digits with a rising arrow for acceleration, a descending arrow for deceleration, and no arrow for constant speed (see Table 8). The advice content showed a green stickman indicating right of way, a red stickman prohibiting crossing, or a caution sign in case of jaywalking.

Table 8. Display on the roof of the autonomous car in the three message content conditions

Likelihood of crossing according to traffic rules							
Very unlikely Zebra, Red light		Unlikely No Zebra, No light		Likely Zebra, No light		Very likely Zebra, Green light	
Control (gear only)							
							
Speed							
 		 		 		 	
Pedestrian traffic light							
 		 		 		 	
Initial display		Try to cross		Initial display		Try to cross	

Each participant made crossing decisions in front of both human-operated and autonomous cars (Figure 8). There were always six vehicles on the crossing scenes: four vehicles interacting with the participants and two filler cars. The crossing situations varied in likelihood of crossing according to traffic rules from very unlikely (zebra crossings & red pedestrian traffic lights), unlikely (neither zebra crossings nor pedestrian traffic lights), likely (zebra crossings only), very likely (zebra crossings and green pedestrian traffic lights). Furthermore, the crossing decisions took place in one of three street scenes. As a result, each participant made 24 road crossing decisions (2 car \* 4 likelihood \* 3 street scenes). Six additional road crossings decisions served as filler items. The 30 trials were presented in random order. Road crossing decisions were measured as a dichotomous yes/no response for the 24 situations. Furthermore, feeling of safety was assessed after each road crossing decision on a scale from 0 to 10, with 10 being the maximum.

Table 8 shows the initial display in the four likelihood situations in the three message content conditions and how the display adapts in case a pedestrian attempts to cross. The message content corresponded to the actual behaviour of the cars and was dependent on pedestrian behaviour. Because of the difference in content, there were no systematic correspondence relations between the three conditions.

#### 5.2.4 *Virtual reality apparatus and practice tasks*

The virtual reality apparatus (Figure 8) consisted of hardware and software. The hardware comprised an *HTC vive reality* and audio headset. Furthermore, sensors in the room allowed detection of the position and movement of the participants. The sensors drew a virtual perimeter of 16 square meters (4m x 4m) projecting the virtual world into the real world. Joysticks in both hands allowed interacting with the software. The software was developed using *Unity*.

Each road crossing situation consisted of a four-way intersection in one of three street scenes with six cars, both human-operated and autonomous, of the same brand and of random colour. All human-operated cars had the same male driver. The autonomous cars had neither driver nor passengers. All cars were programmed to have the same behaviour, follow a defined route, and take into account pedestrian behaviour, e.g., stopping for a crossing pedestrian, even when jaywalking. There were always at least four cars potentially crossing the pedestrian's path.

First, participants were trained to walk around and to interact with objects in the virtual reality environment. The practice task involved walking towards a rabbit in a neutral area. When reaching the rabbit's position, the participants had to stare at another rabbit. Second, participants studied a 40-second presentation of human-operated and autonomous cars matching the assigned condition. Third, participants were trained in road crossing behaviour in three successive trials in which they had to 1) cross a street, 2) not cross a street and terminate the trial, and 3) make a crossing decision. Fourth, they performed the actual experimental task which was optimized for making the 30 crossing decisions while walking around with the

headset with the cable attached to the computer. To this effect, the first rabbit from the familiarization activity positioned the participants on the pavement. By looking at the second rabbit, participants indicated that they were ready for the next crossing situation and had their gaze correctly oriented. After a fade-out, the crossing scene appeared with approaching cars with a three-second countdown leaving enough time to explore the scene and make the crossing decision. Each crossing decision ended with the feeling of safety rating.

### *5.2.5 Procedure*

Participants were welcomed and read the consent and information form outlining the risks and benefits of the experiment. After agreeing and signing, they were given detailed instructions on the immersion into virtual reality. Furthermore, the out-of-headset part consisted of explanations about the steps of the study, the main tasks and the two questionnaires on a computer. Participants were also instructed on the message content of the autonomous car. The in-headset part required the participant to wear the virtual reality headset and immersed them into the virtual environment. Instructions guided the participants through the experimental sequence composed of the practice tasks and experimental situations for road crossing. After completion, participants were freed of the virtual reality headset. Finally, they answered a trustworthiness questionnaire adapted from the study on Adaptive Cruise Control Systems from Verberne et al. (2012) and a demographic questionnaire on a computer. At the end of the session, participants were debriefed and thanked for their participation.

## **5.3 Results**

### *5.3.1 Pedestrian rule compliance in virtual reality*

We carried out a logistic regression on crossing decision as a dichotomous variable that can be positive (crossed) or negative (did not cross or crossed behind cars). The assumptions were met for this analysis (independence of observations, no multi-collinearity). Thus, 24 road crossing

decisions of 84 participants were analysed following a generalized linear model. We first tested whether road crossing in virtual reality shows pedestrian rule compliance. Figure 8 shows road crossing decisions as a function of type of car and likelihood of crossing according to traffic rules. In the first model with car, likelihood, and their interaction, the parameter for the autonomous car was not significant (Table 9). As Figure 9 shows, crossing was equally frequent in front of human-operated and autonomous cars. The analysis did show a significant main effect of likelihood: all three parameters for likelihood were significant (Table 9). Road crossing in virtual reality does obey traffic rules since we observed an increasing percentage of positive crossing decisions with increasing likelihood. No interaction between car and likelihood was found.

The second model integrated trustworthiness of the autonomous car as a covariate. As in the first model, the likelihood of crossing according to traffic rules, but not the type of car, predicted the outcome of crossing decisions (Table 9). Regarding the interaction of car and likelihood, two of the individual parameters were significant. Figure 9 shows slightly less crossing in front of autonomous cars for medium levels of likelihood. The two models show comparable goodness of fit as measured by their Quasi-likelihood under Independence model Criterion (QIC). Figure 9 shows pedestrian rule compliance: a low percentage of positive crossing decisions (less than 20%) when crossing was explicitly forbidden (red pedestrian traffic light: very unlikely) and a high percentage when it was explicitly authorized (green pedestrian traffic light: very likely). In the middle situations, traffic rules underdetermine the decision. Figure 9 shows that pedestrians decisions go either way, i.e., around 40 to 60% of positive crossing decisions both for road configurations with no pedestrian traffic light and no zebra crossings (unlikely) and for configurations with a zebra crossings only (likely).

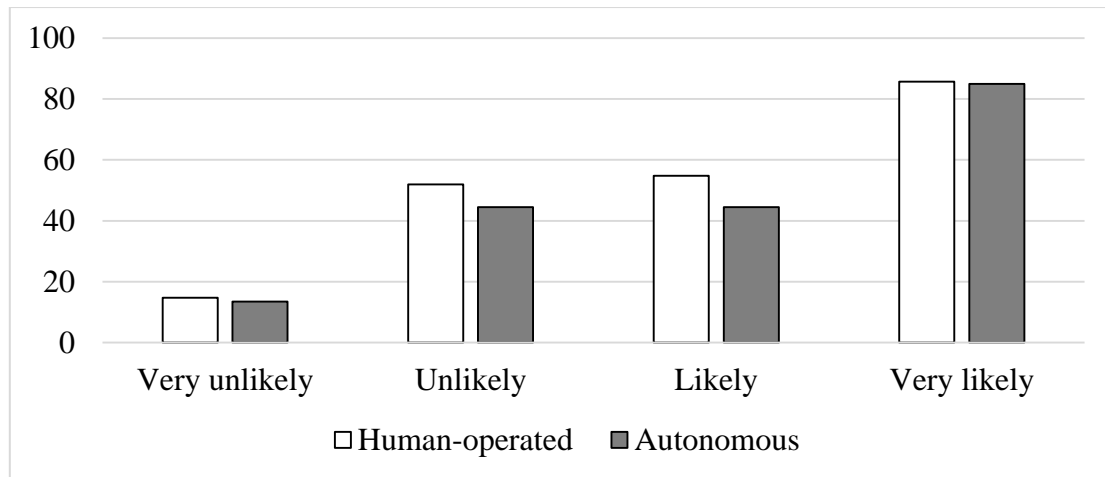


Figure 9. Positive crossing decisions (%) by car and likelihood of crossing according to traffic rules. Note: each bar is based on three decisions (street scenes) for all 84 participants

### 5.3.2 Road crossing as a function of type of car and message content

In order to establish the effect of message content, we studied situations in which traffic rules underdetermine crossing decisions (unlikely, likely) and the pedestrian has to rely on interaction with the car. This logistic regression analysis therefore excludes situations with a red or green pedestrian traffic light (very unlikely, very likely). A model for testing the effect of likelihood (unlikely, likely) did not show an effect thereby warranting the decision to no longer make the distinction in further analysis.

Figure 10 shows the percentage of positive crossing decisions in front of human-operated and autonomous cars in each of the three message content conditions. Since human-operated cars were identical, and only autonomous cars varied across message content conditions, we were interested in the interaction between message content and car. The interaction, tested in Model 3, was significant. The reference condition for all comparisons (parameters) is crossing in front of the human-operated car in the control condition (left most bar in Figure 10). As expected, there was no difference between message content conditions in the level of positive crossing decisions in front of the human-operated car. There seemed to be slightly less crossing in front of human-operated cars in the pedestrian traffic light condition, but the parameter was not significant (Table 10). In the control condition, there seemed to be slightly less positive crossing decisions in front of autonomous as compared to human-operated car. However, the

corresponding parameter only approached significance (Table 10). Furthermore, regarding the autonomous car, whereas the parameter for crossing in the pedestrian traffic light condition was significant, the one for crossing in the speed condition was not (Table 10). Figure 10 shows that pedestrians, as expected, took significantly less positive crossing decisions in the pedestrian traffic light condition (right most bar in Figure 10) compared to the reference condition. Furthermore, the QIC of this model dropped to 1394.550 showing considerable goodness of fit.

Model 4 integrated trustworthiness of the autonomous car as a covariate. None of the parameters reached significance in this model. Thus, trustworthiness seems to explain the interaction between car and message content. The QIC was slightly higher suggesting that model 3, without trustworthiness, provides the better fit.

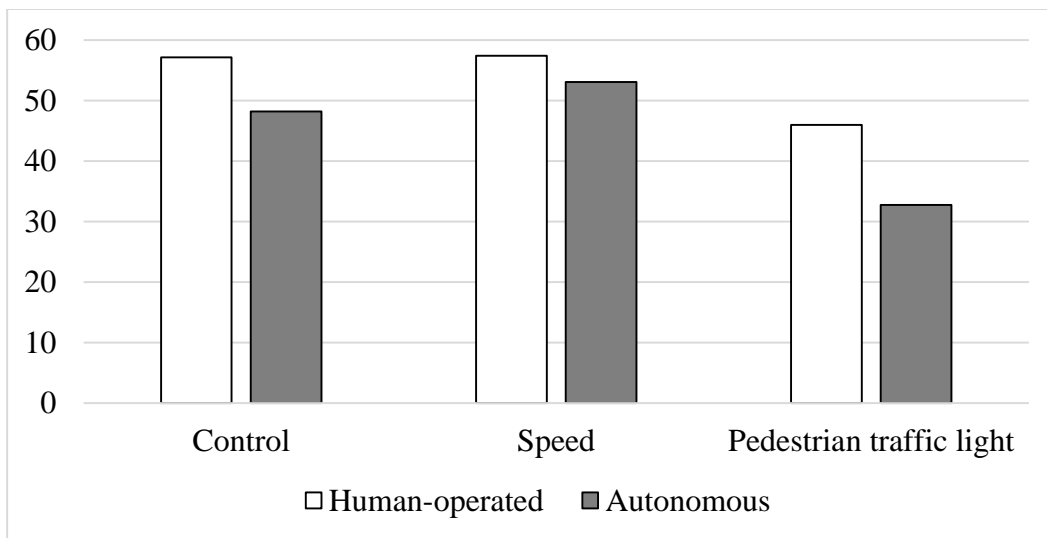


Figure 10. Positive crossing decisions (%) by car and message content. Note: each bar is based on six decisions (2 likelihood \* 3 street scenes) for the participants in each condition

### 5.3.3 Feeling of safety

We carried out a MANOVA with repeated measures on feeling of safety. The assumptions were met (no outliers, normality, and homoscedasticity). The correlations between trustworthiness of the autonomous car and feeling of safety in front of the human-operated ( $r = .045$ , ns) and the autonomous car ( $r = .177$ , ns) car were not significant. Therefore, we did not

use trustworthiness as a covariate. The results showed no effect of car ( $F(1, 81) = 0.047$ , ns), but an effect of likelihood of crossing according to traffic rules ( $F(3, 79) = 20.327$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .44$ ). Figure 11 shows a higher feeling of safety when crossing was either very unlikely or very likely, i.e., with a red and green pedestrian traffic light respectively, as compared to the middle levels of likelihood when crossing is either unlikely or likely (U-shape).

Although feeling of safety did not differ between message content conditions ( $F(2, 81) = 2.646$ , ns), the analysis revealed an interaction between message content and likelihood ( $F(6, 160) = 2.459$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .08$ ). Figure 11 shows that the observed U-shape effect of likelihood seems to be attenuated in the pedestrian traffic light condition. Finally, a triple interaction car x likelihood x message content attained significance ( $F(6, 160) = 2.487$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = 0.09$ ). In the pedestrian traffic light condition, when crossing is either unlikely or likely, the feeling of safety with the autonomous car seems to attain ceiling level, whereas feeling of safety actually shows *lower* levels with human-operated cars as compared to autonomous cars. In fact, the presence of a pedestrian traffic light seems to be the distinguishing feature. In other words, situations with a pedestrian traffic light either as an object of the road infrastructure (very unlikely and very likely) or on the display of the autonomous car produced higher feeling of safety compared to no pedestrian traffic light (object nor display). Finally, a paired t-test showed that the actual decision did not influence feeling of safety ( $t(79) = 1.074$ , ns). Feeling of safety was about the same for negative (mean = 7.52,  $SD = 1.81$ ) as for positive crossing decisions (mean = 7.66  $SD = 1.45$ ).



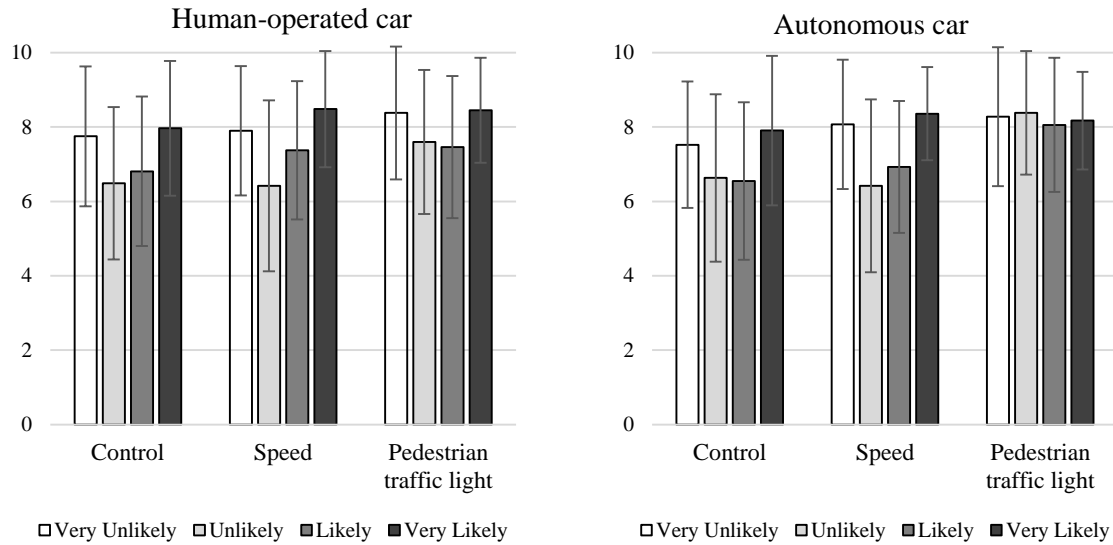


Figure 11. Mean feeling of safety (and standard deviation) as a function of type of car, message content and likelihood of crossing according to traffic rules

## 5.4 Discussion and conclusion

The review of the literature showed many different HMI designs for ensuring communication between pedestrians and autonomous cars. HMI designs vary in technology, in form and in message content. We adopted a user-centred design approach in the form of focus groups for the generation of solutions for vehicle-pedestrian interaction. The outcome highlighted the difference between information about the car versus advice for the pedestrian; a dichotomy described in the literature (Ackermann et al., 2019; Clamann et al., 2017). The study of actual solutions necessarily involves choosing amongst the very many different implementations. For instance, Ackermann et al. (2019) considered text in LED with the content "automatic mode" as information about vehicle status. Hence, different concepts and solutions emerging from focus groups subsequently requires testing in virtual or real settings. In our study, the designers developed solutions for information about the speed of the car in digits and advice for the pedestrian as pedestrian traffic lights in icons.

A primary issue relates to the appropriateness of virtual reality for studying road crossing behaviour. In our study, the frequency of positive road crossing decisions reflected the

likelihood of crossing according to traffic rules, i.e., from less frequent crossing with a red and highly frequent crossing with a green pedestrian traffic light. Thus, the results showed pedestrian rule compliance in virtual reality and mirrored actual road crossing behaviour (Bergeron et al., 2008; Tom & Granié, 2011). However, further research should corroborate these results with actual autonomous cars in real traffic situations. Although it seems to be an appropriate tool for studying and controlling specific factors into play in road crossing behaviour, virtual reality may alter the perception of risk and feelings of safety experienced in real traffic situations. Indeed, feeling of safety in our study was rather high, which calls into question virtual reality as a substitute for actual road configurations. Still, feeling of safety showed fluctuations depending on experimental conditions thus showing the potential to convey the full complexity of a road crossing situation (Tom et al., 2008). Moreover, feeling of safety was high when there was a pedestrian traffic light either as an object in the scene or as an icon on the display of the autonomous car. Thus, the presence or absence of a pedestrian traffic light seems to be the determinant factor in feeling of safety. Therefore, in line with the literature (Bergeron et al., 2008; Di Stasi et al., 2014; Ren et al., 2011), feeling of safety related to traffic regulations seems to transfer to situations where a pedestrian traffic light is used as message content in the display of autonomous cars.

Two message contents, information and advice, were compared to a control condition in underdetermined crossing situations in which the decision was up to the pedestrian. We found an interaction between car and message content: advice to the pedestrian, but not information about the car, lead to fewer positive crossing decisions in front of the autonomous car. Although, pedestrians indicate motion and dynamic of the vehicle as useful information (AlAdawy et al., 2019; Dey & Terken, 2017), information about speed as implemented in our study did not lower road crossing decisions nor did it increase feeling of safety. Our study showed that advice in the form of a pedestrian traffic light induces more cautious pedestrian crossing behaviour. In fact, the effect seemed to spread to the human-operated car, i.e., slightly fewer positive crossing decisions occurred in the pedestrian traffic light condition despite the fact that the human-operated car did *not* have a display.

Putting this into perspective, our results challenge Clamann et al. (2017)'s work where the display on the autonomous cars was only noticed by 12% of the participants. Pedestrian traffic lights as an advice is reassuring as attested by the effect on feeling of safety, while at the same time instigating careful behaviour as attested by crossing decisions. This is in line with de Clercq et al. (2019) who concluded that instructions with an egocentric point of view have more impact than allocentric ones. Pedestrians are more willing to follow an instruction when it targets them specifically. Moreover, this confirms the results of Cambon de Lavalette et al. (2009) where pedestrian traffic lights constitute a strong constraint in the decision to cross. Therefore, when the goal is to stimulate safe outcomes, the design of vehicle-pedestrian interaction should focus on the display of advice in the form of traffic signs to enforce traffic rules. Indeed, in this particular situation where a quick decision needed to be taken, advice proved to be the most salient information. These results resonate with the familiarity of pedestrian traffic signals that benefit from an absence of ambiguity for signalling right of way as established in road safety rules. In addition, messages with direct behavioural advice represent more constraints and thus produce safer crossing decisions.

Our study also raises methodological issues. Studying type of message content implies modifying a communication system as a whole, which prevents systematic comparisons. Newly invented signs and symbols for human-vehicle interaction therefore require to be studied holistically in contextualized environments, either real or virtual. However, establishing the effect of particular factors such as the likelihood of crossing according to traffic rules requires multiple comparable crossing decisions in controlled situations. An experimental task with multiple successive trials, although better accomplished in virtual reality and allowing systematic study, may have unwanted side effects. Participants may interpret the succession of road crossing decisions as having multiple tries without perceiving risk associated to the decision. A road crossing game with a life gauge in a virtual reality environment could be an alternative for an ecological road environment experience.

Finally, recommendations for road safety reside in appropriate and clear indications towards pedestrians crossing in front of autonomous cars especially when no traffic signs are present in the road infrastructure. Displaying advice was shown to be a better alternative for a lower rate of pedestrian crossing. Further studies should investigate the cause of this behaviour. Furthermore, as trustworthiness of the autonomous car plays a role in road crossing behaviour, road safety education should focus on the concrete properties of autonomous vehicles in both their functioning and their communication capabilities. Future research should focus on road safety empowerment of all road users, pedestrians, cyclists and drivers of human-operated vehicles. Appropriate systems for pedestrian-vehicle interaction may provide the affordances that will help in decreasing the role of human factor in fatal collisions.

Table 9. Logistic regression on crossing decision by type of car and likelihood according to traffic rules without (Model 1) and with (Model 2) Trustworthiness of the autonomous car as a covariate

Predictor	Model 1					Model 2				
	$\beta$	SE $\beta$	Wald's $\chi^2$	<i>df</i>	<i>p</i> - Value	$\beta$	SE $\beta$	Wald's $\chi^2$	<i>df</i>	<i>p</i> - Value
Intercept	-1.760	.2211	63.360	1	.000	-1.790	.4679	14.641	1	.000
Autonomous	-.098	.1467	.450	1	.502					
Human-operated car * Trust						.007	.0996	1.344	1	.246
Autonomous car * Trust						.126	.1087	.005	1	.943
Very Likely	3.551	.3167	125.728	1	.000	3.552	.3166	125.804	1	.000
Likely	1.951	.2220	77.198	1	.000	1.951	.2220	77.245	1	.000
Unlikely	1.839	.2222	68.533	1	.000	1.839	.2221	68.558	1	.000
Autonomous*Very Likely	.035	.2312	.023	1	.880	-.563	.3553	2.509	1	.113
Autonomous*Likely	-.316	.2103	2.256	1	.133	-.922	.3586	6.615	1	.010
Autonomous*Unlikely	-.204	.2072	.971	1	.325	-.811	.3301	6.030	1	.014
Autonomous*Very Unlikely						-.613	.3456	3.146	1	.076
QIC			2246.233					2253.124		

Table 10. Logistic regression on crossing decision by type of car and message content without (Model 3) and with (Model 4) Trustworthiness of the autonomous car as a covariate

Predictor	Model 3					Model 4					
	$\beta$	SE $\beta$	Wald's $\chi^2$	<i>df</i>	<i>p</i> -Value		$\beta$	SE $\beta$	Wald's $\chi^2$	<i>df</i>	<i>p</i> -Value
Intercept	.288	.2672	1.159	1	.282		-.446	.4688	.905	1	.341
Autonomous car*Traffic light	-1.007	.3743	7.234	1	.007	*Trust	-.032	.1223	.068	1	.795
Autonomous car*Speed	-.164	.3401	.233	1	.630	*Trust	.131	.1313	1.000	1	.317
Autonomous car*Control	-.359	.1914	3.520	1	.061	*Trust	.087	.1083	.651	1	.420
Human-operated car*Traffic light	-.449	.3342	1.804	1	.179	*Trust	.071	.1155	.382	1	.536
Human-operated car*Speed	.011	.3468	.001	1	.975	*Trust	.156	.1274	1.503	1	.220
Human-operated car*Control						*Trust	.164	.1087	2.280	1	.131
QIC			1394.550						1408.142		

## **Chapitre 6      Discussion générale**

*Ce sixième et dernier chapitre clôture les travaux de cette thèse. Il reprend les résultats et principales contributions, et présente les limites des travaux. Des implications théoriques sont discutées, des directions vers d'autres recherches sont proposées et enfin des préconisations pratiques sont énoncées.*

Le développement de la voiture autonome sur nos routes transforme l'environnement routier et suppose la remise à jour l'éducation à la sécurité routière. La voiture autonome fait partie des questions socialement vives (QSV) qui alimentent le domaine des « éducation à ». Son étude nécessite une démarche particulière pour une visée didactique en sciences de l'éducation. Les sujets qui correspondent aux critères des QSV sont nombreux, ils se réfèrent à des domaines variés des « éducation à » mais leurs considérations curriculaires sont spécifiques à un sujet donné. En effet, les questions liées au réchauffement climatique, aux nanotechnologies, ou encore aux voitures autonomes ne peuvent être abordées de manière similaire. L'objectif de cette thèse est de présenter une démarche d'étude de la voiture autonome et de son interaction avec le piéton.

Nous avons commencé par questionner et caractériser les connaissances présentes dans la société actuelle à travers des profils de préconceptions. Puis, nous voulions savoir si les décisions de traversée et le sentiment de sécurité pouvaient être différents devant une voiture autonome selon l'infrastructure routière et l'environnement proche. Des caractéristiques individuelles ont été prises en compte telles que le niveau de confiance dans la voiture autonome, le degré de similarité à un chauffeur idéal attribué à la voiture autonome et le niveau de connaissance du code de la route pour les piétons. Puis, lors de séances de créativité avec des usagers de la route, deux systèmes d'interaction ont été créés. Par la suite, la compréhension de ces deux systèmes a été évaluée selon trois catégories, le changement de vitesse, la priorité

donnée au piéton et la décision de traversée. Nous voulions enfin observer des comportements de traversée et mesurer le sentiment de sécurité avec des voitures autonomes équipées de systèmes d'interaction en réalité virtuelle. Pour atteindre l'ensemble de ces objectifs, quatre études ont été menées.

L'étude de cet objet, la voiture autonome, présente des particularités. Elle n'est pas encore totalement aboutie et, à ce jour, ses caractéristiques techniques et technologiques ne sont pas arrêtées. De plus, les infrastructures qui seront mises en place ainsi que l'état du réseau routier ne peuvent être que projetées au moment présent. Ainsi dans cette thèse, nous avons choisi de considérer une voiture autonome à son niveau d'autonomie le plus élevé et de ne pas imposer aux participants une conception et un fonctionnement spécifiques.

## **6.1 Résultats principaux**

Lors de la première étude, nous avons pu définir la voiture autonome en tant que QSV de l'éducation à la sécurité routière. Une arborescence ontologique a été proposée afin de pouvoir situer la voiture autonome selon ses attributs en fonction des savoirs savants. La voiture autonome est un artéfact qui fonctionne avec l'intelligence artificielle, et fait partie pour l'instant des objets à mémoire limitée. Un questionnaire en trois parties a permis de qualifier et de caractériser deux facteurs et cinq profils de préconceptions. A travers une analyse factorielle exploratoire, un premier facteur a été mis en évidence et indique un caractère de bienveillance attribué à la voiture autonome. Un second facteur fait part du caractère technique de la voiture autonome, une vision confiante envers la prouesse technologique. A travers une analyse hiérarchique de nuée dynamiques, les cinq profils Sécurité, Définition, Fonction, Intelligence et Chauffeur qualifiant la voiture autonome ont été déterminés. Chaque profil a été détaillé et a fait l'objet de préconisations spécifiques pour l'éducation à la sécurité routière. Ces profils rendent compte de différents niveaux de connaissance et de compréhension de la nature et des fonctionnalités de la voiture autonome. La mise en évidence de ces cinq profils a



permis de nous rendre compte que les préconceptions de la voiture autonome ne sont pas binaires (pour la technologie ou contre l'absence de contrôle humain) mais bien plurielles.

La deuxième étude présentait l'influence du type de voiture sur la décision de traversée du piéton avec des photographies représentant trois environnements de traversée présentés en 360°. L'infrastructure routière a également été prise en compte, avec la présence et l'absence de passages et de feux piétons, donnant lieu à quatre conditions expérimentales. Les caractéristiques individuelles telles que le niveau de confiance envers la voiture autonome, le degré de similarité à un chauffeur idéal attribuée à la voiture autonome et le niveau de connaissance du code de la route pour les piétons ont été contrôlés. L'analyse des 24 décisions prises par les 45 participants a permis de mettre en évidence une influence de la voiture autonome sur la décision de traversée. Devant une voiture autonome, il y a moins de décisions de traversée. Un respect des règles du code de la route a pu être observé : les traversées sont moindres lorsque le feu piéton est rouge que lorsqu'il est vert. De même, la présence d'un passage piéton encourage la traversée. Enfin, un effet de l'environnement a été observé bien que les trois versions d'une même situation de traversée aient été construites de façon à montrer des similarités dans l'infrastructure routière. Les résultats de cette étude indiquent des comportements différents induit par la voiture autonome comparée à une voiture traditionnelle et que l'environnement proche est un facteur déterminant.

La troisième étude présentait la création par des usagers de systèmes d'interaction de la voiture autonome ainsi que l'analyse de leur compréhension. A travers deux séances de créativité et une séance d'élaboration, deux systèmes ont été retenus. Le premier système d'interaction informe le piéton sur l'état du véhicule autonome en affichant sa vitesse. Le deuxième système conseille le piéton sur sa conduite à tenir à travers l'affichage de feux piétons. La création de ces deux systèmes rejoint les systèmes existant dans la littérature, notamment dans de précédentes études qui utilisent la méthode de focus groupes (Ackermann et al., 2019). Afin de compléter cette démarche de création, une étude de la compréhension de ces systèmes a été effectuée à l'aide de deux types de questionnaires, l'un avec des images

statiques sans contexte et l'autre avec des vidéos en contexte. Les résultats montrent que les systèmes renseignent bien sur les messages communiqués. Cependant, le système qui conseille permet davantage l'émission de comportements en accord avec le code de la route.

La quatrième et dernière étude reprenait les systèmes conçus lors des séances de créativité. En utilisant la méthodologie de la réalité virtuelle, les participants ont été immergés dans un carrefour à quatre embranchements. A travers 24 décisions de traversée à prendre, les participants ont été mis en présence de voitures traditionnelles et autonomes. Les voitures autonomes étaient représentées soit sans système d'interaction, soit équipées du système qui informe soit du système qui conseille. Le niveau de confiance envers le véhicule autonome a été contrôlé. Les résultats mettent en évidence que lorsque les infrastructures routières ne donnent pas une priorité absolue au piéton (situations autre que présence d'un passage piéton et d'un feu vert piéton), les décisions de traversée sont moindres face à une voiture autonome possédant un système d'interaction qui conseille le piéton.

## **6.2 Implications théoriques**

La particularité innovante du véhicule autonome conduit à certaines remises en cause théoriques. Son développement croissant fait évoluer le contexte sociétal et alimente les savoirs savants. L'arborescence ontologique de Chi et al. (1994) qui montre des limites pour la catégorisation de la voiture autonome peut expliquer les difficultés d'apprentissage de cet objet. Il convient comme nous l'avons proposé de considérer de nouvelles catégories d'artefacts. Au vu du développement accrue de la voiture autonome, il devient nécessaire de contextualiser de façon temporelle nos résultats.

La voiture autonome est un objet d'étude particulier des questions socialement vives. Ainsi, bien que la démarche de recherche et de prise en compte de cet objet pour l'éducation à la sécurité routière soit très caractéristique, on peut se demander si cette même démarche pourrait être attribuée à des objets similaires utilisant les technologies de l'intelligence

artificielle. Il devient nécessaire de pouvoir théoriser ce type d'objets surtout lorsqu'ils alimentent le champ des « éducation à... ». En effet, comme nous l'avons vu dans le deuxième chapitre, ces objets disposent de nouveaux attributs et nécessitent des ajouts dans les classifications ontologiques. La prise en compte de ce nouveau type de classification est d'autant plus important que les comportements associés soient différents. Ainsi, dans le but de pouvoir préconiser des comportements responsables et adaptés, il est important de mettre à jour la classification et les attributs des objets issus de l'innovation. De même, au fur et à mesure du développement de nouvelles catégories d'artefact, il est nécessaire de compléter les arborescences ontologiques.

Au fil des années, le public est de plus en plus amené à côtoyer et utiliser des véhicules et navettes ayant un niveau d'autonomie s'approchant du niveau d'autonomie le plus élevé. Penmetsa et al. (2019) s'accordent à dire qu'une exposition répétée aux véhicules autonomes permet de faire augmenter la perception de sécurité et d'acceptation de cette technologie. Ainsi, au fur et à mesure de la commercialisation de prototypes viables, il serait intéressant de pouvoir caractériser de l'évolution des profils de préconceptions de manière longitudinale.

De même, l'influence du type de voiture sur la décision de traversée peut évoluer avec le développement des prototypes de véhicules autonomes. En effet, les récents travaux de Rad et al. (2020) remettent en cause les résultats que nous présentions au chapitre trois. Ces auteurs observent en effet que les décisions de traversée sont plus fréquentes devant une voiture autonome. Ces résultats montrent que le fait de suivre le développement technologique de la voiture autonome et donc de se sentir familier avec cet objet, participe à ce que le piéton traverse davantage devant une voiture autonome. Leurs résultats révèlent également que ceux qui font davantage confiance à la voiture autonome sont les plus à même de traverser avant l'arrêt complet de la voiture. Ce résultat illustre le fait que les connaissances sur les capacités du véhicule autonome à préserver la vie humaine se propagent. En effet, si les arrêts systématiques des véhicules autonomes se confirment pour tout piéton sur la chaussée, même en cas de piéton hors-la-loi, les décisions de traversée seront plus fréquemment positives.

### 6.3 Préconisations pratiques

Plusieurs préconisations pratiques découlent de nos travaux. Tout d'abord en ce qui concerne le deuxième chapitre, on peut imaginer qu'un outil permettant de déterminer des profils de préconceptions serait souhaitable afin de pouvoir davantage pouvoir adapter les curriculums. Il est important de pouvoir identifier des profils de préconceptions inadaptés afin de pouvoir les déconstruire. Cependant toute la difficulté réside dans la capacité de pouvoir caractériser des préconceptions inadaptées puis de pouvoir les résoudre grâce à des préconisations personnalisées.

La voiture autonome, en tant qu'objet issu de l'innovation, va nécessiter un temps d'apprentissage et de familiarisation par les usagers. De nombreuses études sont aujourd'hui réalisées pour définir les attitudes et comportements face à cet objet. Au vu des incertitudes majeures qui demeurent concernant son interaction, il est important de pouvoir isoler les éléments permettant une bonne réceptivité de l'objet. Par la suite, il s'agit pour toute innovation technologique de pouvoir considérer rapidement les éléments d'information nécessaires pour une bonne introduction de l'artefact dans le domaine public. Pour ces objets « qui n'existent pas encore », tout l'enjeu est de pouvoir anticiper les risques et problématiques.

Pour imaginer l'utilisabilité de ces innovations, et les rendre les plus intuitives possibles, des processus de conception avec l'utilisateur se sont révélés concluants. Les solutions proposées sont variées, fonctionnelles et surtout répondent à un réel besoin. De plus, on peut également souligner l'importance de l'étude de la compréhension de tout système d'interaction avant son implémentation. Dans nos travaux, nous avons pu déterminer la prévalence du conseil sur l'information pour des comportements plus prudents, dans un contexte routier avec des temporalités courtes et des risques fatals.

Pour l'étude des décisions de traversée, nous avons utilisé dans cette thèse des photographies en 360° et de la réalité virtuelle. Ces deux outils se sont révélés pertinents notamment car ils permettent le respect des règles du code de la route par les piétons. A terme,

ces deux outils pourraient se montrer utiles pour les besoins pédagogiques de l'éducation à la sécurité routière.

#### **6.4 Limites**

Plusieurs limites aux études réalisées doivent être soulignées. Tout d'abord, l'homogénéité de nos échantillons a pu orienter nos résultats. Les échantillons recrutés se composaient ainsi soit d'étudiants en sciences sociales, soit du personnel à majorité d'ingénieurs du CEA (structure qui héberge les locaux d'Ideas laboratory). Cependant, cette homogénéité a permis de rendre compte de résultats probants pour les formations suivies (sciences humaines et sociales, et sciences de l'ingénieur) par les échantillons étudiés. La réplication de nos études avec un échantillon de formation plus variée et un pourcentage d'hommes et de femmes équilibré pourrait davantage nuancer nos résultats.

En ce qui concerne nos deux études sur la décision de traversée, un point difficile a été de pouvoir inciter le participant à traverser devant les voitures. Bien que le contexte des tâches de décisions de traversée encourage à une prise de décision dans une limite temporelle, certaines traversées se sont réalisées lorsque le trafic routier a diminué. Nous n'avons pas analysé les résultats concernant les décisions de traversée après le passage des véhicules, ils pourraient pourtant contribuer à l'explication de nos résultats. De plus, concernant ces deux mêmes études, nous n'avons pas relevé d'influence du type de voiture sur le sentiment de sécurité. Ce paramètre a été mesuré selon des modalités différentes entre l'étude utilisant des photographies en 360° et l'étude utilisant la réalité virtuelle. Ainsi, le sentiment de sécurité a été évalué de manière déclarative dans l'étude avec des photographies en 360° alors qu'il a été évalué après une traversée effective en réalité virtuelle. La comparaison de cette variable entre les deux études ne peut se faire selon les mêmes critères. D'autre part, la compréhension des questions sur le sentiment de sécurité a pu être considérée de plusieurs façons. Par exemple, au vu de nos résultats, le sentiment de sécurité a pu être compris comme une évaluation de la compatibilité de la décision de traversée avec la suite des événements routiers en réalité virtuelle. Afin de

pouvoir considérer ce paramètre dans de prochaines études, il serait opportun de pouvoir jumeler le sentiment de sécurité avec des indicateurs physiologiques tel que le rythme cardiaque ou encore la conductance cutanée tout en reformulant de manière plus précise la question.

Dans les travaux de cette thèse, l'interaction principale prise en compte entre le piéton et la voiture autonome se produit lors de la traversée de rue. Or, les interactions sont nombreuses et variées, ainsi de futurs travaux pourraient prendre en compte les autres types d'interaction recensés par Markkula et al. (2020). Nous pourrions envisager d'étudier des situations de gestion de conflit, où par exemple le piéton et la voiture autonome souhaitent occuper un même espace.

Les paramètres qui influencent la décision de traversée sont nombreux et beaucoup n'ont pas pu être pris en compte dans les travaux de cette thèse. Parmi ces paramètres figurent par exemple l'âge des piétons (Bernhoft & Carstensen, 2008; Dommes et al., 2015), ou encore leur genre (Hulse et al., 2018; Tom & Granié, 2011).

## **6.5 Perspectives**

L'étude du véhicule autonome et de ses interactions est un domaine en constante évolution, grâce au développement technologique accru de cette innovation. Ainsi, de nombreuses perspectives seraient à envisager pour davantage étendre la portée de nos résultats.

Une des possibilités pour poursuivre les études présentées dans cette thèse serait de mener des expérimentations avec une voiture autonome parcourant un circuit réaliste avec des participants prêts à s'y confronter. Nous avons réalisé des travaux avec des environnements routiers présentés sous forme de photographies en 360° et en réalité virtuelle, cependant une comparaison avec des situations réelles pourraient corroborer ou non les résultats obtenus. Une expérimentation dans laquelle les décisions de traversée qui s'enchaînent serait logistiquement difficilement réalisable. L'obtention de résultats similaires à ceux de nos travaux pourrait venir

conforter la validité de méthodes plus économiques et réalisables de manière expérimentale. Il y a cependant des questions d'ordre éthique à définir. Faut-il considérer un véhicule autonome qui s'arrête à chaque manœuvre du piéton même en cas d'infraction routière ? La fluidité du trafic serait alors remise en cause.

Dans la perspective d'approfondir nos préconisations pour l'éducation à la sécurité routière, de prochaines études pourraient s'intéresser à la mise en place d'un dispositif pédagogique pour l'adoption de comportements appropriés et non dangereux. Il pourrait s'agir par exemple d'un jeu sérieux. Ce dispositif permet l'apprentissage de procédures, de règles, de comportements en suivant un objectif défini à l'avance de manière ludique. Un jeu sérieux pour l'apprentissage d'une conduite fluide a déjà montré des résultats concluants (Hrimech et al., 2016). La possibilité de perdre « des vies » pourrait permettre d'engager la prise de risque. De plus, le jeu sérieux pourrait implémenter un système de gain ou de perte de points qui agirait en tant que renforcement positif et négatif pour aider à l'apprentissage d'objectifs ciblés. Par exemple, des gains de points lorsque le piéton traverse au feu vert piéton, et des retraits de points si la voiture autonome doit effectuer des arrêts inopinés.

Le cas de la voiture autonome est un cas particulier du point de vue de l'usage. Contrairement à d'autres objets technologiques tel que les smartphones par exemple, l'utilisateur piéton n'est pas l'utilisateur actif de la voiture autonome. Le piéton est dit réceptif et il s'agit d'étudier sa volonté à vouloir interagir avec la voiture autonome (Deb et al., 2017). Ainsi, des futures recherches pourraient se porter sur les processus cognitifs en jeu lors des interactions et apporter une valeur explicative aux comportements piétons face aux voitures autonomes.

## **6.6 Conclusion générale**

La voiture autonome représente un défi pour l'éducation à la sécurité routière. Elle constitue une question socialement vive qui nécessite une démarche d'étude particulière afin d'être insérée dans les curriculums. A travers les travaux de cette thèse, nous avons cherché à

formaliser une démarche de recherche traitant des préconceptions, de la conception et de la compréhension de messages de la voiture autonome et de comportements de traversée de rue. Cette thèse a permis de démontrer que l'on ne considère pas seulement la voiture autonome selon deux modalités (humaines ou robotisées), mais qu'il existe au moins cinq profils de préconceptions pour lesquels les considérations pédagogiques diffèrent. Nous avons également pu montrer que les comportements de traversée changent selon plusieurs facteurs que nous avons isolés. L'environnement entre en jeu mais c'est aussi le cas de l'infrastructure routière qui peut limiter les décisions positives de traversée. On note principalement l'influence négative de la voiture autonome sur les décisions de traversée. La création de messages par des usagers a permis d'identifier et de répondre aux besoins de l'utilisateur piéton. L'étude de la compréhension de message de la voiture autonome nous a ainsi amené à conclure que le conseil s'avère être plus efficace que l'information pour le respect du code de la route. La réalité virtuelle s'est révélée être un outil adapté pour l'étude des comportements : le respect des règles y est apparu comme effectif supposant une réplique fidèle des conditions réelles. Cet outil pourrait donc faire l'objet d'activités pédagogiques (par exemple de type jeu sérieux) pour l'éducation à la sécurité routière.

Cependant, de nombreuses incertitudes subsistent encore sur le fonctionnement et l'implémentation du véhicule autonome. Cette ambiguïté caractéristique des « éducation à... » appelle au développement de l'esprit critique des apprenants. En effet, lorsque rien n'est encore fixé dans les savoirs savants et que les débats sont vifs dans la société, il faut pouvoir s'armer pour y trouver du sens. Ainsi, on pourrait se demander si les sujets répondants aux critères des questions socialement vives ne mériteraient pas davantage de place et d'importance dans les curriculums des « éducation à... ».



## Bibliographie

- Ackermann, C., Beggiato, M., Schubert, S., & Krems, J. F. (2019). An experimental study to investigate design and assessment criteria : What is important for communication between pedestrians and automated vehicles? *Applied Ergonomics*, 75, 272-282. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.11.002>
- AlAdawy, D., Glazer, M., Terwilliger, J., Schmidt, H., Domeyer, J., Mehler, B., Reimer, B., & Fridman, L. (2019). Eye contact between pedestrians and drivers. *arXiv preprint arXiv:1904.04188*.
- Alpe, Y., & Barthes, A. (2013). De la question socialement vive à l'objet d'enseignement : Comment légitimer des savoirs incertains ? *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 29, 33-44. <https://doi.org/10.4000/dse.95>
- Ampofo-Boateng, K., & Thomson, J. A. (1991). Children's perception of safety and danger on the road. *British Journal of Psychology*, 82(4), 487-505.
- Audigier, F. (2012). Les Éducation à... *Recherches en didactiques*, N° 13(1), 25-38.
- Audigier, F. (2015). Domaines généraux de formation, compétences, éducation à... : Les curriculums et les disciplines scolaires chahutées. D'un cadrage historique et pédagogique à l'éducation en vue du développement durable comme exemple emblématique. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 37(3), 426-440.
- Baron, G.-L., & Bruillard, E. (2001). Une didactique de l'informatique? *Revue française de Pédagogie*, 163-172.
- Basadur, M., Graen, G. B., & Green, S. G. (1982). Training in creative problem solving : Effects on ideation and problem finding and solving in an industrial research organization. *Organizational Behavior and Human Performance*, 30(1), 41-70.
- Ben-Bassat, T., & Shinar, D. (2006). Ergonomic Guidelines for Traffic Sign Design Increase Sign Comprehension. *Human Factors*, 48(1), 182-195. <https://doi.org/10.1518/001872006776412298>
- Bergeron, J., De Lavalette, B. C., Tijus, C., Poitrenaud, S., Leproux, C., Thouez, J.-P., & Rannou, A. (2008). Effets des caractéristiques de l'environnement sur le comportement des piétons à des intersections urbaines. *Le piéton et son environnement. Quelles interactions? 20 Quelles adaptations? Actes INRETS n, 115*, 163-174.

- Bernhoft, I. M., & Carstensen, G. (2008). Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *11*(2), 83–95.
- Billard, V., Hiron, B., Murard, F., Loubet-loche, E., & Seguin, O. (2010). *Les traversées des piétons*. CERTU.
- Bimbraw, K. (2015). Autonomous Cars : Past, Present and Future - A Review of the Developments in the Last Century, the Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Vehicle Technology: *Proceedings of the 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 191-198. <https://doi.org/10.5220/0005540501910198>
- Bonnefon, J.-F., Shariff, A., & Rahwan, I. (2016). The social dilemma of autonomous vehicles. *Science*, *352*(6293), 1573–1576.
- Borgen, F. H., & Barnett, D. C. (1987). Applying cluster analysis in counseling psychology research. *Journal of Counseling Psychology*, *34*(4), 456.
- Brémond, R., Tom, A., Désiré, L., Gigout, E., Granié, M.-A., & Auberlet, J.-M. (2012). Visual cues in pedestrian's crossing decision : In search of a quantitative model. *Proc. Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC*. [http://perso.lcpc.fr/roland.bremond/documents/TRB12\\_Bremond.pdf](http://perso.lcpc.fr/roland.bremond/documents/TRB12_Bremond.pdf)
- Brorsson, A., Öhman, A., Lundberg, S., & Nygård, L. (2016). Being a pedestrian with dementia : A qualitative study using photo documentation and focus group interviews. *Dementia*, *15*(5), 1124–1140.
- Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : Quelques apports réciproques. *Le travail humain*, *66*(1), 65–91.
- Cambon de Lavalette, B., Tijus, C., Poitrenaud, S., Leproux, C., Bergeron, J., & Thouez, J.-P. (2009). Pedestrian crossing decision-making : A situational and behavioral approach. *Safety Science*, *47*(9), 1248-1253. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.03.016>
- Cassini, S., Piquard, A., & Larousserie, D. (2017, décembre 31). Les 5 familles de l'intelligence artificielle. *LeMonde.fr*. [https://www.lemonde.fr/pixels/article/2017/12/31/les-5-familles-de-l-intelligence-artificielle\\_5236310\\_4408996.html](https://www.lemonde.fr/pixels/article/2017/12/31/les-5-familles-de-l-intelligence-artificielle_5236310_4408996.html)
- Chang, C.-M., Toda, K., Sakamoto, D., & Igarashi, T. (2016, septembre 24). *Eyes on a Car : An interface design for communication between an autonomous car and a pedestrian*.

9th ACM International conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Oldenburg, Germany.  
<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3122989>

Charron, C., Festoc, A., & Guéguen, N. (2012). Do child pedestrians deliberately take risks when they are in a hurry? An experimental study on a simulator. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(6), 635-643.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.07.001>

Chevallard, Y. (1986). *La Transposition didactique : Du savoir savant au savoir enseigné.*(*Recherches en didactique des mathématiques*). JSTOR.  
<http://www.jstor.org/stable/41162650>

Chi, M. T. H. (1997). Quantifying qualitative analyses of verbal data : A practical guide. *the journal of the learning sciences*, 6(3), 271-315.

Chi, M. T. H. (2013). Two Kinds and Four Sub-Types of Misconceived Knowledge, Ways to Change it, and the Learning Outcomes. In *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Routledge.  
<http://www.routledgehandbooks.com/doi/10.4324/9780203154472.ch3>

Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes : A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4, 27-43.

Clamann, M., Aubert, M., & Cummings, M. L. (2017). *Evaluation of Vehicle-to-Pedestrian Communication Displays for Autonomous Vehicles*. Transportation Research Board 96th Annual Meeting Transportation Research Board. <https://trid.trb.org/View/1437891>

Coca-Vila, I. (2018). Self-driving cars in dilemmatic situations : An approach based on the theory of justification in criminal law. *Criminal Law and Philosophy*, 12(1), 59–82.

Comité interministériel de la sécurité routière. (2018). *Sauvons plus de vies sur nos routes* [Dossier de presse]. Comité interministériel de la sécurité routière.  
[www.gouvernement.fr/partage/9885-comite-interministeriel-de-la-securite-routiere](http://www.gouvernement.fr/partage/9885-comite-interministeriel-de-la-securite-routiere)

*Comment mener une action ? - Éducation et sensibilisation à la sécurité routière—Éduscol.* (s. d.). Consulté 19 août 2020, à l'adresse [https://eduscol.education.fr/education-securite-routiere/spip.php?page=article&id\\_article=5](https://eduscol.education.fr/education-securite-routiere/spip.php?page=article&id_article=5)

- Courteaud, L., & Roux, C. (2013). Thème, histoire et problématique en éducation à la sécurité routière. *Questions Vives. Recherches en éducation*, Vol.9 n°19, 141-157. <https://doi.org/10.4000/questionsvives.1300>
- de Clercq, K., Dietrich, A., Núñez Velasco, J. P., de Winter, J., & Happee, R. (2019). External Human-Machine Interfaces on Automated Vehicles : Effects on Pedestrian Crossing Decisions. *Human Factors*, 61(8), 1351-1370. <https://doi.org/10.1177/0018720819836343>
- De Vries, E. (2011). Learning with external representations. In N. M. Seel (Éd.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (p. 2016-2019). Springer Science & Business Media.
- De Vries, E., & Masclet, C. (2013). A framework for the study of external representations in collaborative design settings. *International Journal of Human-Computer Studies*, 71(1), 46–58.
- Deb, S., Strawderman, L., Carruth, D. W., DuBien, J., Smith, B., & Garrison, T. M. (2017). Development and validation of a questionnaire to assess pedestrian receptivity toward fully autonomous vehicles. *Transportation research part C: emerging technologies*, 84, 178–195.
- Deb, S., Strawderman, L. J., & Carruth, D. W. (2018). Investigating pedestrian suggestions for external features on fully autonomous vehicles : A virtual reality experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 59, 135-149. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.08.016>
- Dell’Era, C., & Landoni, P. (2014). Living Lab : A methodology between user-centred design and participatory design. *Creativity and Innovation Management*, 23(2), 137–154.
- Dewar, R. E., & Ells, J. G. (1977). The Semantic Differential as an Index of Traffic Sign Perception and Comprehension. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 19(2), 183-189. <https://doi.org/10.1177/001872087701900208>
- Dey, D., & Terken, J. (2017). Pedestrian interaction with vehicles : Roles of explicit and implicit communication. *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 109–113.

- Di Stasi, L. L., Megías, A., Cándido, A., Maldonado, A., & Catena, A. (2014). The Influence of Traffic Signal Solutions on Self-Reported Road-Crossing Behavior. *The Spanish Journal of Psychology*, *17*. <https://doi.org/10.1017/sjp.2014.105>
- Dommes, A., Lay, T. L., Vienne, F., Dang, N.-T., Beaudoin, A. P., & Do, M. C. (2015). Towards an explanation of age-related difficulties in crossing a two-way street. *Accident Analysis & Prevention*, *85*, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.022>
- Dorst, K. (2011). The core of ‘design thinking’ and its application. *Design studies*, *32*(6), 521–532.
- Éducation à la sécurité routière—L’éducation à la sécurité routière à l’école—Éduscol*. (s. d.). Consulté 19 août 2020, à l’adresse <https://eduscol.education.fr/cid45635/l-education-a-la-securite-routiere-a-l-ecole.html>
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles : Opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *77*, 167–181.
- Feldstein, I., Dietrich, A., Milinkovic, S., & Bengler, K. (2016). A Pedestrian Simulator for Urban Crossing Scenarios. *IFAC-PapersOnLine*, *49*(19), 239-244. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.531>
- Fleetwood, J. (2017). Public health, ethics, and autonomous vehicles. *American journal of public health*, *107*(4), 532–537.
- Ganier, F., Hoareau, C., & Devillers, F. (2013). Évaluation des performances et de la charge de travail induits par l’apprentissage de procédures de maintenance en environnement virtuel. *Le travail humain*, *76*(4), 335–363.
- Ganier, F., Hoareau, C., & Tisseau, J. (2014). Evaluation of procedural learning transfer from a virtual environment to a real situation : A case study on tank maintenance training. *Ergonomics*, *57*(6), 828–843.
- Girault, Y., & Sauvé, L. (2008). L’éducation scientifique, l’éducation à l’environnement et l’éducation pour le développement durable. Croisements, enjeux et mouvances. *aster*.
- Granié, M.-A., Brenac, T., Montel, M.-C., Millot, M., & Coquelet, C. (2014). Influence of built environment on pedestrian’s crossing decision. *Accident Analysis & Prevention*, *67*, 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.02.008>

- Grislin, M., & Kolski, C. (1996). Evaluation des interfaces homme-machine lors du développement de système interactif. *Technique et Science informatiques*, 15(3), 265–296.
- Groff, J., Boucheix, J.-M., Lowe, R. K., Argon, S., Saby, L., Alauzet, A., & Paire-Ficout, L. (2014). Don't miss your train! Just follow the computer screen animation: Comprehension processes of animated public information graphics. *Computers in Human Behavior*, 30, 206–221.
- Gupta, S., Vasardani, M., & Winter, S. (2016). Conventionalized Gestures for the Interaction of People in Traffic with Autonomous Vehicles. *Proceedings of the 9th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science*, 55–60. <https://doi.org/10.1145/3003965.3003967>
- Habibovic, A., Andersson, J., Nilsson, M., Lundgren, V. M., & Nilsson, J. (2016). Evaluating interactions with non-existing automated vehicles: Three Wizard of Oz approaches. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 32-37. <https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535360>
- Hashimoto, Y., Gu, Y., Hsu, L.-T., Iryo-Asano, M., & Kamijo, S. (2016). A probabilistic model of pedestrian crossing behavior at signalized intersections for connected vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 71, 164-181. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.07.011>
- Hatfield, J., Fernandes, R., Job, R. F. S., & Smith, K. (2007). Misunderstanding of right-of-way rules at various pedestrian crossing types: Observational study and survey. *Accident Analysis & Prevention*, 39(4), 833-842. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.12.005>
- Havard, C., & Willis, A. (2012). Effects of installing a marked crosswalk on road crossing behaviour and perceptions of the environment. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 15(3), 249–260.
- Higuera-Trujillo, J. L., López-Tarruella Maldonado, J., & Llinares Millán, C. (2017). Psychological and physiological human responses to simulated and real environments: A comparison between Photographs, 360° Panoramas, and Virtual Reality. *Applied Ergonomics*, 65, 398-409. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.05.006>

- Hintze, A. (2016). Understanding the four types of AI, from reactive robots to self-aware beings. *The Conversation*. <http://theconversation.com/understanding-the-four-types-of-ai-from-reactive-robots-to-self-aware-beings-67616>
- Holland, C., & Hill, R. (2007). The effect of age, gender and driver status on pedestrians' intentions to cross the road in risky situations. *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 224-237. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.07.003>
- Holland, C., & Hill, R. (2010). Gender differences in factors predicting unsafe crossing decisions in adult pedestrians across the lifespan: A simulation study. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1097-1106. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.023>
- Hrimech, H., Beloufa, S., Merienne, F., Boucheix, J. M., Cauchard, F., Vedrenne, J., & Kemey, A. (2016). The Effects of the Use of Serious Game in Eco-Driving Training. *Frontiers in ICT*, 3. <https://doi.org/10.3389/fict.2016.00022>
- Hulse, L. M., Xie, H., & Galea, E. R. (2018). Perceptions of autonomous vehicles: Relationships with road users, risk, gender and age. *Safety Science*, 102, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.001>
- Hussain, R., & Zeadally, S. (2018). Autonomous Cars: Research Results, Issues and Future Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1-1. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2869360>
- Hutson, M. (2017). *AI Glossary: Artificial intelligence, in so many words*. American Association for the Advancement of Science.
- Jian, L., Lizhong, Y., & Daoliang, Z. (2005). Simulation of bi-direction pedestrian movement in corridor. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 354, 619-628. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.03.007>
- Jo, K., Kim, J., Kim, D., Jang, C., & Sunwoo, M. (2014). Development of Autonomous Car Part I: Distributed System Architecture and Development Process. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(12), 7131-7140. <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2321342>
- Jo, K., Kim, J., Kim, D., Jang, C., & Sunwoo, M. (2015). Development of Autonomous Car—Part II: A Case Study on the Implementation of an Autonomous Driving System Based on Distributed Architecture. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(8), 5119-5132. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2410258>

- Johansson-Sköldberg, U., Woodilla, J., & Çetinkaya, M. (2013). Design thinking : Past, present and possible futures. *Creativity and innovation management*, 22(2), 121–146.
- Johnston, L., & Peace, V. (2007). Where did that car come from? : Crossing the road when the traffic comes from an unfamiliar direction. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 886-893. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.12.010>
- Kaparias, I., Bell, M. G. H., Miri, A., Chan, C., & Mount, B. (2012). Analysing the perceptions of pedestrians and drivers to shared space. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(3), 297-310. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.02.001>
- Kitzinger, J., Markova, I., & Kalampalikis, N. (2004). Qu'est-ce que les focus groups? *Bulletin de psychologie, Groupe d'étude de psychologie*, 57(3), pp.237-243. <https://doi.org/ffhalshs-00533472>
- Kouabénan, D. R. (2007). Incertitude, croyances et management de la sécurité. *Le travail humain*, 70(3), 271-287. <https://doi.org/10.3917/th.703.0271>
- Kyriakidis, M., Happee, R., & de Winter, J. C. F. (2015). Public opinion on automated driving : Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127-140. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.014>
- Lange, J.-M., & Victor, P. (2006). Didactique curriculaire et «éducation à... la santé, l'environnement et au développement durable» : Quelles questions, quels repères? *Didaskalia*, 28, 85-100.
- Lautrey, J., Rémi-Giraud, S., Sander, E., & Tiberghien, Y. (2008). *Les connaissances naïves*. Armand Colin. <http://www.armand-colin.com/les-connaissances-naives-9782200354459>
- Lawrence, N. D. (2017). Living Together : Mind and Machine Intelligence. *arXiv:1705.07996 [cs]*. <http://arxiv.org/abs/1705.07996>
- Lebeaume, J. (2014). L'enseignement ménager en France. *Sciences et techniques au féminin, 1880-1980*, 1844–1942.
- Legardez, A. (2006). Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères. In *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives* (Vol. 110, p. 19–32). ESF.



- Legardez, A. (2016). *Questions Socialement Vives, et Education au Développement Durable. L'exemple de la question du changement climatique.*
- Legardez, A. (2017). *Propositions pour une modélisation des processus de didactisation sur des Questions Socialement Vives.*
- Legardez, A., & Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives.* ESF.
- Levinson, J., Askeland, J., Becker, J., Dolson, J., Held, D., Kammel, S., Kolter, J. Z., Langer, D., Pink, O., Pratt, V., & others. (2011). Towards fully autonomous driving : Systems and algorithms. *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE*, 163–168. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5940562](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5940562)
- Li, Y., Dikmen, M., Hussein, T. G., Wang, Y., & Burns, C. (2018). To Cross or Not to Cross : Urgency-Based External Warning Displays on Autonomous Vehicles to Improve Pedestrian Crossing Safety. *Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 188–197. <https://doi.org/10.1145/3239060.3239082>
- Liu, Y.-C., & Tung, Y.-C. (2014). Risk analysis of pedestrians' road-crossing decisions : Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed. *Safety Science*, 63, 77–82.
- Lobjois, R., Benguigui, N., & Cavallo, V. (2013). The effects of age and traffic density on street-crossing behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.028>
- Lundgren, V. M., Habibovic, A., Andersson, J., Lagstrom, T., Nilsson, M., Sirkka, A., Fagerlön, J., Fredriksson, R., Edgren, C., Krupenia, S., & Saluäär, D. (2017). Will there be new communication needs when introducing automated vehicles to the urban context ? *Advances in Human Aspects of Transportation*, 484, 485-497.
- Mahadevan, K., Somanath, S., & Sharlin, E. (2018, avril 21). *Communicating Awareness and Intent in Autonomous Vehicle-Pedestrian Interaction.* CHI 2018, Montréal, QC, Canada. <https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3173574.3174003>
- Mako, E., & Szakonyi, P. (2016). Evaluation of Human Behaviour at Pedestrian Crossings. *Transportation Research Procedia*, 14, 2121-2128. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.227>

- Mallein, P., & Tarozzi, S. (2002). Des signaux d'usage pertinents pour la conception des objets communicants. *Les Cahiers du numerique*, Vol. 3(4), 61-70.
- Markkula, G., Madigan, R., Nathanael, D., Portouli, E., Lee, Y. M., Dietrich, A., Billington, J., Schieben, A., & Merat, N. (2020). Defining interactions : A conceptual framework for understanding interactive behaviour in human and automated road traffic. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, undefined-undefined.
- McComas, J., MacKay, M., & Pivik, J. (2002). Effectiveness of virtual reality for teaching pedestrian safety. *CyberPsychology & Behavior*, 5(3), 185–190.
- Merat, N., Louw, T., Madigan, R., Wilbrink, M., & Schieben, A. (2018). What externally presented information do VRUs require when interacting with fully Automated Road Transport Systems in shared space? *Accident Analysis & Prevention*, 118, 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.018>
- Méthodes*. (2016, juin 13). Ideas Laboratory. <https://www.ideas-laboratory.com/presentation/methodes/>
- Millard-Ball, A. (2016). Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities. *Journal of Planning Education and Research*, 0739456X16675674.
- Miller, D., Johns, M., Mok, B., Gowda, N., Sirkin, D., Lee, K., & Ju, W. (2016). Behavioral Measurement of Trust in Automation : The Trust Fall. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60(1), 1849-1853. <https://doi.org/10.1177/1541931213601422>
- Mission et valeurs*. (2016, juin 13). Ideas Laboratory. <https://www.ideas-laboratory.com/presentation/mission-et-valeurs/>
- Mitman, M. F., & Ragland, D. R. (2007). Crosswalk confusion : More evidence why pedestrian and driver knowledge of the vehicle code should not be assumed. *Transportation Research Record*, 2002(1), 55–63.
- Müller, L., Risto, M., & Emmenegger, C. (2016). The social behavior of autonomous vehicles. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*, 686–689.
- Nass, C., & Moon, Y. (2000). Machines and mindlessness : Social responses to computers. *Journal of social issues*, 56(1), 81–103.

- Niu, D., Terken, J., & Eggen, B. (2018). Anthropomorphizing information to enhance trust in autonomous vehicles. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28(6), 352-359. <https://doi.org/10.1002/hfm.20745>
- Osgood, C. E. (1964). Semantic differential technique in the comparative study of cultures. *American anthropologist*, 66(3), 171-200.
- Payre, W., Cestac, J., & Delhomme, P. (2014). Intention to use a fully automated car : Attitudes and a priori acceptability. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, Part B, 252-263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.009>
- Peng, C.-Y. J., Lee, K. L., & Ingersoll, G. M. (2002). An introduction to logistic regression analysis and reporting. *The journal of educational research*, 96(1), 3–14.
- Penmetsa, P., Adanu, E. K., Wood, D., Wang, T., & Jones, S. L. (2019). Perceptions and expectations of autonomous vehicles – A snapshot of vulnerable road user opinion. *Technological Forecasting and Social Change*, 143, 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.02.010>
- Poplimont, C. (2013). Éducation routière, changement de comportement et formation à la conduite : Constats, enjeux et transformations. *Questions Vives. Recherches en éducation*, Vol.9 n°19, 15-19.
- Rad, S. R., de Almeida Correia, G. H., & Hagenzieker, M. (2020). Pedestrians' road crossing behaviour in front of automated vehicles : Results from a pedestrian simulation experiment using agent-based modelling. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 69, 101–119.
- Rasouli, A., & Tsotsos, J. K. (2018). Autonomous Vehicles that Interact with Pedestrians : A Survey of Theory and Practice. *arXiv preprint arXiv:1805.11773*.
- Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What is design thinking and why is it important? *Review of educational research*, 82(3), 330–348.
- Ren, G., Zhou, Z., Wang, W., Zhang, Y., & Wang, W. (2011). Crossing Behaviors of Pedestrians at Signalized Intersections : Observational Study and Survey in China. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2264(1), 65-73. <https://doi.org/10.3141/2264-08>

- Rosenbloom, T. (2009). Crossing at a red light : Behaviour of individuals and groups. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(5), 389-394. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2009.05.002>
- Rosenbloom, T., Shahar, A., & Perlman, A. (2008). Compliance of Ultra-Orthodox and secular pedestrians with traffic lights in Ultra-Orthodox and secular locations. *Accident Analysis & Prevention*, 40(6), 1919-1924. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.08.004>
- Rothenbücher, D., Li, J., Sirkin, D., Mok, B., & Ju, W. (2015). Ghost driver : A platform for investigating interactions between pedestrians and driverless vehicles. *Adjunct Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 44–49. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2809755>
- Rowe, P. G. (1987). *Design thinking*. MIT press.
- Sanders, E. B.-N. (2002). From user-centered to participatory design approaches. In *Design and the social sciences* (p. 18–25). CRC Press.
- Schieben, A., Wilbrink, M., Kettwich, C., Madigan, R., Louw, T., & Merat, N. (2018). Designing the interaction of automated vehicles with other traffic participants : Design considerations based on human needs and expectations. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 69-85. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0521-z>
- Schneemann, F., & Gohl, I. (2016). Analyzing driver-pedestrian interaction at crosswalks : A contribution to autonomous driving in urban environments. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 38-43. <https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535361>
- Schnotz, W., Baadte, C., & Müller, A. (2010). Creative thinking and problem solving with depictive and descriptive representations. In *Use of representations in reasoning and problem solving* (p. 21–45). Routledge.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and instruction*, 13(2), 141–156.
- Schwebel, D. C., Combs, T., Rodriguez, D., Severson, J., & Sisiopiku, V. (2016). Community-based pedestrian safety training in virtual reality : A pragmatic trial. *Accident Analysis & Prevention*, 86, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.10.002>
- Schwebel, D. C., McClure, L. A., & Severson, J. (2014). Usability and Feasibility of an Internet-Based Virtual Pedestrian Environment to Teach Children to Cross Streets Safely. *Virtual reality*, 18(1), 5-11. <https://doi.org/10.1007/s10055-013-0238-5>

- Senach, B. (1990). *Evaluation ergonomique des interfaces homme-machine : Une revue de la littérature.*
- Shinar, D., Dewar, R. E., Summala, H., & Zakowska, L. (2003). Traffic sign symbol comprehension : A cross-cultural study. *Ergonomics*, 46(15), 1549-1565. <https://doi.org/10.1080/0014013032000121615>
- Simonneaux. (2003). Enseigner des savoirs « chauds » : L'éducation biotechnologique entre science et valeurs. In J.-P. Astolfi (Éd.), *Éducation et formation. Nouvelles questions, nouveaux métiers.* ESF.
- Simonneaux, L., & Pouliot, C. (2017). *Les Questions Socialement Vives (QSV) ou Socially Acute Questions (SAQ).*
- Stanciu, S. C., Eby, D. W., Molnar, L. J., St. Louis, R. M., Zanier, N., & Kostyniuk, L. P. (2018). Pedestrians/Bicyclists and Autonomous Vehicles : How Will They Communicate? *Transportation Research Record*, 0361198118777091. <https://doi.org/10.1177/0361198118777091>
- Tom, A., Auberlet, J.-M., & Brémond, R. (2008). Approche psychologique de l'activité de traversée des piétons. Implications pour la simulation. *Recherche - Transports - Sécurité*, 28(101), 265-279. <https://doi.org/10.3166/rts.101.265-279>
- Tom, A., & Granié, M.-A. (2011). Gender differences in pedestrian rule compliance and visual search at signalized and unsignalized crossroads. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1794–1801.
- Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). *Utilité, utilisabilité, acceptabilité : Interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH.* In: Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2003. 391-402. <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000154>
- Verberne, F. M. F., Ham, J., & Midden, C. J. H. (2012). Trust in Smart Systems Sharing Driving Goals and Giving Information to Increase Trustworthiness and Acceptability of Smart Systems in Cars. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(5), 799-810. <https://doi.org/10.1177/0018720812443825>
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth : A study of conceptual change in childhood. *Cognitive psychology*, 24(4), 535–585.

- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental Models of the Day/Night Cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123-183. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1801\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1801_4)
- Walker, F., Dey, D., Martens, M., Pfleging, B., Eggen, B., & Terken, J. (2019). Feeling-of-safety slider : Measuring pedestrian willingness to cross roads in field interactions with vehicles. *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–6.
- Waytz, A., Heafner, J., & Epley, N. (2014). The mind in the machine : Anthropomorphism increases trust in an autonomous vehicle. *Journal of Experimental Social Psychology*, 52, 113-117. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2014.01.005>
- Wolff, J. S., & Wogalter, M. S. (1998). Comprehension of pictorial symbols : Effects of context and test method. *Human factors*, 40(2), 173–186.
- Yim, O., & Ramdeen, K. T. (2015). Hierarchical cluster analysis : Comparison of three linkage measures and application to psychological data. *The quantitative methods for psychology*, 11(1), 8–21.
- Zeedyk, M. S., & Kelly, L. (2003). Behavioural observations of adult–child pairs at pedestrian crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 771–776.
- Zegeer, C. V., Stewart, J. R., Huang, H. H., Lagerwey, P. A., Feaganes, J., & Campbell, B. J. (2005). *Safety effects of marked versus unmarked crosswalks at uncontrolled locations : Final report and recommended guidelines*. <https://trid.trb.org/view.aspx?id=767638>

## Index des figures

Figure 1. L'arborescence ontologique étendue intégrant le développement de la catégorie « artéfact ». Les ellipses grisées figurent dans l'original de Chi, Slotta et de Leeuw (1994), les ellipses blanches constituent notre ajout.....	33
Figure 2. Mean percentage of positive crossing decisions as a function of car, likelihood, and environment .....	56
Figure 3. Mean feeling of safety as a function of the type of car, likelihood and environment. ....	58
Figure 4. Propositions de la première séance (groupe 1 à gauche, groupe 2 au milieu, groupe 3 à droite) .....	71
Figure 5. Propositions de la deuxième séance (groupe 1 à gauche, groupe 2 au milieu, groupe 3 à droite) .....	72
Figure 6. Prototypes des deux systèmes d'interaction de la voiture autonome .....	74
Figure 7. Deux systèmes d'interaction Information (vitesse) et Conseil (feux piétons) .....	77
Figure 8. The experimental setting: an autonomous car with gear on the roof, a crossing situation in a street scene, and the virtual reality equipment .....	92
Figure 9. Positive crossing decisions (%) by car and likelihood of crossing according to traffic rules. Note: each bar is based on three decisions (street scenes) for all 84 participants.....	97
Figure 10. Positive crossing decisions (%) by car and message content. Note: each bar is based on six decisions (2 likelihood * 3 street scenes) for the participants in each condition .....	98
Figure 11. Mean feeling of safety (and standard deviation) as a function of type of car, message content and likelihood of crossing according to traffic rules.....	100

## Index des tableaux

Tableau 1. Echelle sémantique différentielle .....	37
Tableau 2. Analyse factorielle exploratoire après rotation varimax (coefficients de saturation supérieurs à .35 apparaissent en gras) .....	39
Tableau 3. Pourcentage de participants dans chaque cluster par élément de contenu .....	41
Tableau 4. Summary statistics of the individual characteristics .....	55
Table 5. Logistic regression on crossing decision .....	64
Tableau 6. Réponses correctes selon le code de la route pour les deux systèmes d'interaction et la condition contrôle pour les questions ouvertes (QO) et les questions à choix multiples.....	78
Tableau 7. Moyennes (écart type) des scores de compréhension .....	79
Table 8. Display on the roof of the autonomous car in the three message content conditions	93
Table 9. Logistic regression on crossing decision by type of car and likelihood according to traffic rules without (Model 1) and with (Model 2) Trustworthiness of the autonomous car as a covariate .....	104
Table 10. Logistic regression on crossing decision by type of car and message content without (Model 3) and with (Model 4) Trustworthiness of the autonomous car as a covariate .....	105



## Annexes

Etude du chapitre 2 .....	133
Questionnaire des préconceptions.....	133
Etude du chapitre 3 .....	136
Consentement éclairé.....	136
Présentation de la voiture autonome .....	136
Questionnaire Knowledge of road safety rules .....	137
Questionnaire Trustworthiness .....	140
Questionnaire Perceived similarity of the ideal human driver.....	142
Main Road.....	147
Business park .....	147
Residential area.....	148
Questionnaire démographique .....	149
Débriefing .....	153
Etude du chapitre 4 .....	155
Consentement éclairé.....	155
Questionnaire Lecture de chiffre (détection du daltonisme pour les couleurs rouge et vert) .....	156
Questions ouvertes .....	158
Procédure détaillée.....	167
Débriefing .....	170
Etude du chapitre 5 .....	171
Consentement éclairé.....	171
Questionnaire Trustworthiness.....	174
Questionnaire démographique .....	176
Environnements de traversée .....	181
Procédure détaillée.....	182
Débriefing .....	187

## Etude du chapitre 2

### Questionnaire des préconceptions

# Questionnaire

## La voiture autonome

*Merci de votre participation, celle-ci est très précieuse dans la conduction de nos recherches.  
Ce questionnaire est anonyme. Les données récoltées ne seront utilisées qu'à des fins de recherche.*

---

Une série de questions va vous être présentée, veuillez répondre à chacune d'entre elles dans l'ordre qu'elles vous seront présentées.

Veuillez répondre de la manière la plus sincère, il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses, seule votre opinion personnelle nous intéresse.

Si vous avez des questions ou besoin de plus de précision, vous pouvez contacter le responsable de l'étude à l'adresse mail suivante : ahtchine.e@gmail.com.

---

### 0- Question préalable : « **La voiture autonome (ou encore appelée voiture sans chauffeur)** »

*Cochez la case qui vous convient*

- Je n'en n'ai jamais entendu parler
- J'ai une vague idée de ce que ça peut être
- Je sais de quoi il s'agit
- Je m'y intéresse
- J'en ai déjà vu/essayé

Si cela s'applique, précisez brièvement votre expérience avec une/des voiture(s) autonome(s) :

.....

1- Dans cette étude, nous nous intéressons à la voiture autonome, cette nouvelle technologie pas encore sur le marché, va bientôt pouvoir être commercialisée et faire partie de notre quotidien. C'est justement le sujet de conversation du jour avec vos ami(e)s, l'inévitable question « **mais qu'est-ce qu'une voiture autonome ?** » est alors posée. Vous vous proposez volontaire pour présenter la voiture autonome en quelques mots. Veuillez retranscrire ci-dessus vos explications :

2- La conversation sur la voiture autonome se précise : Quels pourraient être les **3** plus grandes **différences** entre la voiture autonome et la voiture d'aujourd'hui selon vous ?

- 1- .....
- 2- .....
- 3- .....

3- Vos amis s'interrogent davantage : **De quoi la voiture autonome est-elle capable ?** Nommez **5 caractéristiques spécifiques** à la voiture autonome (équipement, technologie, performance...).

- 1- .....
- 2- .....
- 3- .....
- 4- .....
- 5- .....

4- **En tant que piéton**, veuillez juger **la voiture autonome** selon les adjectifs suivants :

*Veuillez évaluer votre jugement en vous positionnant selon les deux adjectifs présentés : plus le numéro est proche de l'adjectif de votre choix, plus votre jugement est en accord avec celui-ci ; entourez donc le numéro qui vous semble le plus approprié.*

**La voiture autonome est :**

Intelligente	1	2	3	4	5	Sans intelligence
Responsable	1	2	3	4	5	Irresponsable
Connectée	1	2	3	4	5	Déconnectée
Compétente	1	2	3	4	5	Incompétente
Informée	1	2	3	4	5	Ignorante
Respectueuse	1	2	3	4	5	Irrespectueuse
Inoffensive	1	2	3	4	5	Dangereuse
Rapide	1	2	3	4	5	Lente
Manuelle	1	2	3	4	5	Automatique
Machine	1	2	3	4	5	Humaine
Sensible	1	2	3	4	5	Insensible

5- Quelques questions vous concernant :

*Cochez la ou les case(s) qui convienn-t(-ent)*

Votre année de naissance : .....

Vous êtes

- Un homme
- Une femme

Qu'avez-vous obtenu ou êtes en cours d'obtention ?

- ASSR
- BSSR
- Code de la route
- Permis B
- Permis moto
- Autre, précisez : .....

Quel est votre moyen **habituel** de déplacement ?

- A pied
- Vélo
- Bus
- Tram
- Train
- Voiture
- Autre(s), précisez : .....

Vous possédez :

- Un vélo
- Un abonnement de transport en commun
- Une moto
- Une voiture
- Autre(s), précisez : .....

Fin du questionnaire, merci de votre participation !

## Etude du chapitre 3

### Consentement éclairé

# Consentement éclairé

Merci pour votre participation à cette expérience. Cette expérience comprend une session. Durant cette session, il vous sera demandé de compléter plusieurs tâches qui ne dureront pas plus de 60 minutes.

- 1.Lire les consignes.
- 2.Compléter un questionnaire d'usage.
- 3.Vous familiariser à un environnement virtuel.
- 4.Explorer un environnement virtuel.
- 5.Compléter des questions.
- 6.Compléter un questionnaire de préconceptions.
- 7.Compléter un quiz.
- 8.Répondre à des questions démographiques.
- 9.Prendre connaissance du débriefing.

Il est important pour vous de savoir que cette expérience est conforme aux recommandations éthiques de l'association américaine de psychologie (The American Psychological Association - APA). De ce fait, les données que nous récoltons seront sous

### Présentation de la voiture autonome



## Questionnaire Knowledge of road safety rules

### 1. Votre identification \*

---

Pour les questions suivantes, veuillez cocher une seule bonne réponse.

### 2. Jusqu'à quelle distance du passage piéton est-il obligatoire de l'emprunter ? \*

*Mark only one oval.*

- 20 mètres
- 35 mètres
- 50 mètres
- Il n'est pas obligatoire de l'emprunter
- Je ne sais pas

### 3. Que risque un conducteur qui ne respecte pas la priorité du piéton ? \*

*Mark only one oval.*

- Une amende de première classe et 2 points de retrait sur le permis
- Une amende de deuxième classe et 2 points de retrait sur le permis
- Une amende de quatrième classe et 4 points de retrait sur le permis
- Un rappel à l'ordre
- Je ne sais pas

### 4. Que risque un piéton en infraction ? \*

*Mark only one oval.*

- Un rappel à l'ordre
- Une amende de 4€
- Rien du tout
- Je ne sais pas

Pour les questions suivantes, veuillez cocher plusieurs bonnes réponses.

### 5. Pour un piéton, avoir la priorité signifie... \*

*Tick all that apply.*

- ... que les conducteurs doivent considérer le piéton comme un STOP
- ...qu'au regard de la loi les conducteurs sont en infraction si ils ne laissent pas passer le piéton
- ...être protégé de tous dangers
- ...que le comportement du piéton est conforme à la réglementation
- Je ne sais pas

**6. Le feu vert piéton indique ? \***

*Tick all that apply.*

- Que le piéton peut traverser sans aucune hésitation et sans aucun danger
- Que le piéton doit évaluer la situation avant de traverser
- Que tout le trafic est en arrêt
- Que le piéton a la priorité de passage
- Je ne sais pas

**7. Lorsqu'un piéton traverse... \***

*Tick all that apply*

- La voiture est tenu de s'arrêter jusqu'à la fin de la traversée
- La voiture peut contourner le piéton
- La voiture doit ralentir
- La voiture peut accélérer pour signifier son empressement
- Je ne sais pas

**8. Lesquelles de ces situations sont conformes à la réglementation ? \***

*Tick all that apply.*

- Le piéton traverse sur un passage piéton
- Le piéton traverse sur un passage piéton au feu rouge piéton sans aucune circulation
- Le piéton traverse en zone piétonne sans passage piéton ni feu piéton
- Le piéton traverse sur un passage piéton temporaire
- Je ne sais pas

**9. Parmi les situations suivantes, quelles sont celles où le piéton a la priorité ? \***

*Tick all that apply.*

- Le piéton manifeste son intention de traverser dans une zone piétonne
- Le piéton se situe au niveau du passage piéton avec un feu rouge piéton
- Le piéton se situe au niveau du passage piéton avec un feu vert piéton
- Le piéton se situe au niveau du passage piéton, avec un feu vert piéton, mais avec un trafic venant de la gauche
- Je ne sais pas

**10. Que se passe-t-il lorsque le piéton souhaite traverser dans un endroit sans aucune signalisation ? \***

*Tick all that apply.*

- Le piéton peut traverser à tout moment
- Le piéton n'a pas la priorité
- Le piéton doit attendre que le trafic lui soit favorable
- Le ou les conducteur(s) doivent céder le passage au piéton qui manifeste son intention de traverser
- Je ne sais pas

**11. Le passage piéton... \***

*Tick all that apply.*

- Il n'est pas obligatoire de l'emprunter
- Les conducteurs sont tenus de céder le passage aux piétons encore sur le trottoir ou l'accotement qui manifestent l'intention de s'engager sur le passage piéton
- Les conducteurs cèdent le passage aux passages piétons selon leur bon vouloir
- Un piéton qui n'emprunte pas un passage piéton à proximité est en infraction
- Je ne sais pas

**12. Les feux piétons... \***

*Tick all that apply.*

- Il n'est pas obligatoire de les respecter
- Les feux piéton ne sont qu'une indication de l'état du trafic et ne font donc pas état de réglementation
- Le piéton qui traverse au feu rouge piéton est en infraction
- Le piéton doit attendre le feu vert piéton pour traverser même si il n'y a pas de circulation
- Je ne sais pas

**13. Cochez toutes les règles nécessaires qui doivent être respectées pour que le piéton bénéficie de la priorité : \***

*Tick all that apply.*

- Vérification de la distance du véhicule par rapport au piéton, de la vitesse du véhicule et de la visibilité, qui doivent permettre l'arrêt
- Traversée dans le prolongement du trottoir
- Traversée perpendiculaire à l'axe des chaussées et contournement des places
- Traversée sur le passage piéton s'il est à moins de 50 mètres
- Traversée sur le passage piéton s'il est à moins de 35 mètres
- Respect de la signalisation lumineuse si le passage piéton est géré par les feux
- Respect des accès interdits aux piétons
- Je ne sais pas

**14. Quelle situation définie un piéton en infraction ? \***

*Tick all that apply.*

- Un piéton qui n'emprunte pas le passage piéton
- Un piéton qui passe au feu rouge piéton
- Un piéton qui ne cède pas le passage aux voitures
- Le piéton n'est jamais en infraction
- Je ne sais pas



## Questionnaire Trustworthiness

### 1. Votre numéro d'identification \*

\_\_\_\_\_

Veillez répondre à toutes les questions suivantes selon les deux modalités "en tant que piéton" et "en tant que passager" sur une échelle de 1 (En total désaccord) à 7 (Totalement d'accord).

### 2. Je me méfierais de la voiture autonome... \*

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 3. La voiture autonome sera fiable... \*

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 4. Je confierais ma vie à la voiture autonome... \*

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 5. Je pourrais compter sur la voiture autonome... \*

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**6. La voiture autonome pourrait être à l'origine de graves conséquences ... \****Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**7. Je ferais confiance à la voiture autonome... \****Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**8. Je suppose que la voiture autonome fonctionnera correctement... \****Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Powered by



## Questionnaire Perceived similarity of the ideal human driver

# Vous et la voiture autonome

Questionnaire n°1

\*Required

Votre numéro d'identification \*

Your answer

NEXT

Never submit passwords through Google Forms.

# Vous et la voiture autonome

\*Required

La voiture autonome \*

- Je n'en ai jamais entendu parler jusqu'à présent
- J'ai une vague idée de ce que cela peut être
- Je sais de quoi il s'agit
- Je m'y intéresse
- J'en ai déjà vu/essayé

BACK

NEXT

Never submit passwords through Google Forms.

# Vous et la voiture autonome

\*Required

Veillez indiquer dans quelle mesure vous êtes d'accord avec les propositions suivantes, sur une échelle de 1 (En total désaccord) à 6 (totalement d'accord).

\*

	En total désaccord 1	2	3	4	5	Totalement d'accord 6
La voiture autonome assure la conduite par elle-même	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome n'a pas besoin de chauffeur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome exécute une tâche de conduite	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

La voiture autonome produit sa propre énergie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome a besoin de réglages	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome est sécuritaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome nécessite un chauffeur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome est intelligente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome est connectée	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome est dangereuse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome ne pollue pas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

La voiture autonome reconnaît la signalisation routière	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome s'apparente à un robot	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome est en autonomie de conduite complète	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[BACK](#) [NEXT](#)

Never submit passwords through Google Forms.

# Vous et la voiture autonome

\*Required

En tant que piéton, veuillez juger la voiture autonome selon les adjectifs suivants : La voiture autonome est... \*

	En total désaccord 1	2	3	4	5	Totalement d'accord 6
Responsable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Automatique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Compétente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Informée	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Humaine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Innoffensive	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rapide	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manuelle	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Machine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Expérimentée	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

BACK

NEXT

Never submit passwords through Google Forms.

# Vous et la voiture autonome

\*Required

En tant que piéton, quelle est votre opinion sur les propositions suivantes sur une échelle de 1 à 6 ? \*

	En total désaccord 1	2	3	4	5	Totalement d'accord 6
La voiture autonome se conforme parfaitement au code de la route	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le chauffeur de la voiture classique se conforme parfaitement au code de la route	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome respecte le code de la route à la lettre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome donne la priorité à la vie humaine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La voiture autonome poursuit son trajet coûte que coûte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

BACK

SUBMIT

Never submit passwords through Google Forms.

## Photos des environnements

Main Road



Business park





Residential area



## Questionnaire démographique

\*Required

Quelle est votre année de naissance ? (Sous la forme AAAA) \*

Your answer

---

Vous êtes ? \*

- Homme
- Femme
- Je ne souhaite pas le préciser

Votre situation maritale \*

- Célibataire
- Marié(e)
- Concubinage/ Pacsé(e)
- Divorcé(e)
- Veuf(ve)
- Je ne préfère pas répondre
- Other: \_\_\_\_\_

Combien avez vous d'enfant ? \*

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4 et +
- Je ne préfère pas répondre

Quel est votre niveau et discipline d'étude ? (Exemple: Master 2 Psychologie) \*

Your answer \_\_\_\_\_

Quel est votre diplôme le plus haut complété ? \*

- Brevet des collèges
- Baccaulauréat
- BTS, DUT (Bac+2)
- Niveau Licence (Bac+3)
- Niveau Master (Bac+5)
- Niveau Doctorat (Bac+8)
- Other: \_\_\_\_\_

Quelle est votre nationalité ? \*

- Française
- Other: \_\_\_\_\_

Quelle est votre langue maternelle ? \*

- Français
- Anglais
- Allemand
- Espagnol
- Italien
- Other: \_\_\_\_\_

Veuillez indiquer les éléments suivants que vous avez obtenus (si aucun, ne rien cocher)

	Obtenu il y a - de 3 ans	Obtenu il y a + de 3 ans
L'ASSR (Attestation Scolaire de Sécurité Routière)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le BSR (Le Brevet de Sécurité Routière)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le code de la route	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le Permis A (deux roues motorisées)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le Permis B (voiture)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conduite accompagnée	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le Permis C (poids lourds)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Le Permis D (transport de personnes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Autres permis (avion, bateau, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Vous possédez à titre personnel ou vous pouvez en avoir l'utilisation \*

- une voiture
- une moto/un scooter
- un vélo
- un abonnement de transport en commun
- aucune de ces réponses
- Other: \_\_\_\_\_

Avez vous déjà séjourné dans un pays où la circulation se fait à gauche ? \*

- Oui
- Non

Avez-vous déjà été impliqué dans un accident de voiture ou déjà été témoin ? \*

- Oui
- Non
- Je ne préfère pas répondre

BACK

SUBMIT

Never submit passwords through Google Forms.

# Debriefing

Merci pour votre participation à cette expérience. Vous venez de compléter une série de tâches qui ont pour but de déterminer l'influence du type de voiture sur votre décision de traverser.

La décision de traverser d'un piéton peut être influencée par les caractères intrinsèques à l'individu (son âge, son genre, son statut marital, sa culture, ses croyances) mais aussi par des éléments extérieurs tels que la localisation, la configuration et l'infrastructure de la chaussée, les éléments de signalisation mise en place, etc. Cependant il n'y a pas encore de recherche sur l'influence du type de voiture. C'est pourquoi nous menons aujourd'hui cette recherche en ce qui concerne les voitures autonomes.

Vous avez été exposé aux 4 conditions que propose cette expérience. Ces conditions se définissent par l'absence ou la présence de passage piétons et de feux piétons, ainsi que de la variation du type de véhicule (classique ou autonome).

Le premier questionnaire qui vous a été présenté a pour objectif de déterminer vos initiales conceptions sur la voiture autonome. En d'autres termes, il s'agit de déterminer ce que vous pensez des capacités de la voiture autonome.

Le deuxième questionnaire que vous avez rempli est un questionnaire sur votre niveau de confiance envers la voiture autonome. Ce questionnaire permet de déterminer si vous êtes plutôt méfiant ou confiant envers la voiture autonome. Puis, vous vous êtes familiarisé à la tâche principale présentée en réalité virtuelle, et vous avez procédé à la tâche principale qui est de décider si vous traversiez dans les situations proposées selon les conditions présentées précédemment. Vous avez ensuite passé un test de connaissance sur le code de la route du piéton, et enfin vous avez rempli un questionnaire sur vos données démographiques.

Selon nos hypothèses, on s'attend à ce qu'il y ait une influence négative de la voiture autonome sur la traversée de rue, mais que celle-ci serait rétabli par la présence de signalisation routière. Il y a en effet de nombreuses études sur la traversée de rue des piétons qui pourraient nous guider, mais aucune d'entre elles ne s'intéressent à la voiture autonome, une technologie nouvellement annoncée et encore en voie de développement en plus d'être partiellement mise sur le marché.

Dans le cas où vous auriez des interrogations à propos de cette étude, ou vous voulez simplement en savoir plus, vous pouvez contacter le responsable de cette expérimentation à partir des coordonnées suivantes :

Emeline Ahtchine [emeline.ah-tchine@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:emeline.ah-tchine@univ-grenoble-alpes.fr)

**Veillez s'il vous plait ne pas discuter de cette étude avec d'autres participants potentiels. Il est très important que ceux-ci participent dans le même état d'esprit que vous. De ce fait, il est nécessaire qu'ils ne sachent rien concernant cette expérience avant qu'ils n'y prennent part.**

Encore, merci de votre participation. Nous espérons que vous avez davantage pris plaisir à participer que l'on a eu à préparer cette expérience.

TERMINER L'ETUDE

# Etude du chapitre 4

## Consentement éclairé

### Formulaire d'information et de consentement

Merci de votre participation. **Il est important que vous lisiez bien toutes les consignes et que vous compreniez bien chaque étape.** N'hésitez pas à poser des questions. Durant cette étude qui dure entre 20 et 30 minutes, il vous sera demandé de compléter les tâches suivantes:

1. Lire les consignes.
2. Répondre à un test de lecture de chiffres qui nous permettra de déterminer votre bonne vision du vert et du rouge.
3. Répondre à un premier questionnaire sur le véhicule autonome.
4. Prendre connaissance du contexte de l'étude.
5. Répondre à un deuxième questionnaire de compréhension de formes de communication du véhicule autonome.
6. Visualiser 10 vidéos courtes et répondre à des questions à choix multiples.
7. Répondre à un dernier questionnaire sur le véhicule autonome.
8. Répondre à quelques questions vous concernant.
9. Prendre connaissance du débriefing.

En participant à cette étude, vous contribuez de façon importante à l'adaptation de ces technologies à l'humain.

Les données seront enregistrées de façon anonyme dans une base de données, les résultats de ces analyses seront anonymisés et il ne sera pas possible de recouper ces informations avec votre identité conformément à la législation en vigueur.

Les résultats de cette étude pourront être publiés dans des revues scientifiques ou diffusés lors de conférence.

L'anonymat et la confidentialité des données recueillies est garantie par l'ensemble des partenaires de ce projet. Conformément aux dispositions de la CNIL (loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés), vous disposez d'un droit d'accès et de rectification, vous devez donc vous rappeler de votre numéro d'anonymat.

L'autorisation d'utiliser vos données reste volontaire, elle reste valide jusqu'à la fin de l'étude à moins que vous ne décidiez de la retirer avant. Si vous décidez de retirer votre consentement à participer, merci de contacter le responsable de l'étude.

A partir du moment où vous vous retirez de cette expérimentation, vos données ne seront utilisées dans aucune des phases ultérieures dudit projet. Cependant les documents qui auraient déjà été publiés ne pourront pas être modifiés.

Veuillez cocher la case correspondante (\*choix obligatoire)

<input type="checkbox"/>	J'ai lu les conditions et j'accepte de participer à l'étude. Veuillez appuyer sur le bouton suivant. Merci.*
<input type="checkbox"/>	Je refuse de continuer. Si il vous plaît, veuillez faire connaître votre choix à l'expérimentateur et ne pas poursuivre. Merci.*
<input type="button" value="Poursuivre"/>	



Questionnaire Lecture de chiffre (détection du daltonisme pour les couleurs rouge et vert)

**Lecture de chiffre**

Veillez indiquer pour chaque image présentée, quel est le chiffre que vous pouvez lire



1.



2.



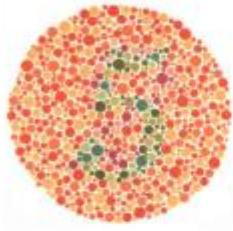
3.



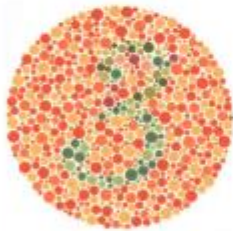
4.



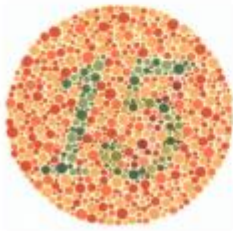
5.



6.



7.



8.

← Précédent



✓ Enregistrer

## Questions ouvertes

### ***Systèmes de communication de la voiture autonome au piéton***

Veillez prendre connaissance ci-dessous des deux formes de communication possible de la voiture autonome, le système A et le système B. Vous avez également une illustration de la voiture autonome et de l'emplacement de cette communication. Lorsque vous les avez assez étudiées, veuillez passer à la suite.



**Système A**



**Système B**



← Précédent            Suivant →

Powered by Spotts

## Questions

Systeme B



*Qu'est ce que cela représente ?*

*Qu'est ce que la voiture veut vous communiquer par cet affichage ?*

*Qu'est ce que cela implique pour vous en tant que piéton ?*

*Merci d'apporter une réponse élaborée à chaque question. Veuillez s'il vous plait écrire au moins 2 lignes.*



*Qu'est ce que cela représente ?*

*Qu'est ce que la voiture veut vous communiquer par cet affichage ?*

*Qu'est ce que cela implique pour vous en tant que piéton ?*

*Merci d'apporter une réponse élaborée à chaque question. Veuillez s'il vous plait écrire au moins 2 lignes.*



**Qu'est ce que cela représente ?**

**Qu'est ce que la voiture veut vous communiquer par cet affichage ?**

**Qu'est ce que cela implique pour vous en tant que piéton ?**

Merci d'apporter une réponse élaborée à chaque question. Veuillez s'il vous plait écrire au moins 2 lignes.

← Précédent



Suivant →

Powered by Sphinx

La voiture autonome vous présente ces indications. Veuillez indiquer dans vos propres mots ce que vous pensez que la voiture veut vous communiquer pour chaque affichage. Essayez de donner des réponses les plus complètes possibles.

**Système A**



**Qu'est ce que cela représente ?**

**Qu'est ce que la voiture veut vous communiquer par cet affichage ?**

**Qu'est ce que cela implique pour vous en tant que piéton ?**

Merci d'apporter une réponse élaborée à chaque question. Veuillez s'il vous plait écrire au moins 2 lignes.



**Qu'est ce que cela représente ?**  
**Qu'est ce que la voiture veut vous communiquer par cet affichage ?**  
**Qu'est ce que cela implique pour vous en tant que piéton ?**

*Merci d'apporter une réponse élaborée à chaque question. Veuillez s'il vous plait écrire au moins 2 lignes.*



**Qu'est ce que cela représente ?**  
**Qu'est ce que la voiture veut vous communiquer par cet affichage ?**  
**Qu'est ce que cela implique pour vous en tant que piéton ?**

*Merci d'apporter une réponse élaborée à chaque question. Veuillez s'il vous plait écrire au moins 2 lignes.*

← Précédent

✓ Enregistrer

## Questions à choix multiples

### **Questionnaire: Ce que la voiture autonome m'indique**

Dans ce questionnaire vous devez pour chaque question, visionner une vidéo autant de fois que nécessaire et répondre aux questions

**Veillez indiquer votre numéro d'anonymat**

*Il s'agit du numéro à 3 chiffres sur le post-it*

Suivant →

Powered by Sphinx

## **QUV**

Pour chaque question, vous devez visionner la vidéo avant de répondre aux questions. N'hésitez pas à regarder la vidéo autant de fois que nécessaire.



**Regardez la vidéo  
pour pouvoir  
répondre aux questions**



**Dans cette vidéo, la voiture autonome voudrait m'indiquer que...**

- Elle ralentit
- Elle accélère
- On ne peut pas le déterminer
- Autre (précisez)

**Dans cette vidéo, la voiture autonome voudrait m'indiquer que...**

- Elle me laisse passer
- Elle ne me laisse pas passer
- On ne peut pas le déterminer
- Autre (précisez)

**Par rapport à la situation que vous venez de visionner, quelle action vous entreprendriez en réponse ?**

- Je traverse
- Je ne traverse pas
- Autre (précisez)

← Précédent

Suivant →

Powered by Sphinx

**Dans cette vidéo, la voiture autonome voudrait m'indiquer que...**

- Elle ralentit
- Elle accélère
- On ne peut pas le déterminer
- Autre (précisez)

**Pourquoi est ce qu'on ne peut pas le déterminer ?**

**Dans cette vidéo, la voiture autonome voudrait m'indiquer que...**

- Elle me laisse passer
- Elle ne me laisse pas passer
- On ne peut pas le déterminer
- Autre (précisez)

Autre (précisez) :

**Par rapport à la situation que vous venez de visionner, quelle action vous entreprendriez en réponse ?**

- Je traverse
- Je ne traverse pas
- Autre (précisez)



## Questionnaire démographique

### **Questionnaire démographique**

**Quel est votre année de naissance ? (sous la forme AAAA)**

**Vous êtes ?**

- Une femme
- Un homme
- Je ne préfère pas le préciser

**Avez-vous des enfants ?**

- Oui
- Non

**Quel est votre niveau et discipline d'étude ? ( Ex: Bac+ 3 Chimie)**

**Quelle est votre nationalité ?**

- Française
- Autre (précisez)

**Quelle est votre langue maternelle ?**

- Française
- Autre (précisez)

**Avez-vous obtenu le code de la route ?**

- Oui
- Non
- Je ne préfère pas le préciser

**Avez-vous obtenu le permis B (voiture) ?**

- Oui
- Non
- Je ne préfère pas le préciser

**Possédez vous une voiture ?**

- Oui
- Non
- Je ne préfère pas le préciser
- Autre (précisez)

**La voiture autonome**

- Je n'en n'ai jamais entendu parler jusqu'à présent
- J'ai une vague idée de ce que ça peut être
- Je sais de quoi il s'agit
- Je m'y intéresse
- J'en ai déjà vu/essayé

**Que diriez vous de votre compréhension des formes de communication de la voiture autonome ?**

- J'ai tout de suite compris leur signification
- J'ai compris leur signification après avoir vu les vidéos
- Autre (précisez)

**Jouez vous à des jeux vidéo qui impliquent la présence de voitures ?**

- Oui
- Non
- Je ne préfère pas le préciser

**Avez-vous des remarques, suggestions ou un message pour le responsable de cette étude ?**

← Précédent

✓ Enregistrer

Powered by Sphinx

Procédure détaillée

## **Running Procedure pour “ La communication du véhicule autonome ”**

### **Un jour avant:**

1. Envoyer un mail aux participants pour leur rappeler la date, l’heure et la localisation de la session à laquelle ils ont choisi de participer.
2. Regarder les données et déterminer si elles sont cohérentes. Les télécharger chaque jour.
3. Vérifier que l’on a suffisamment de post-it pour indiquer aux participants leur numéro d’identification. Vérifier également quel est le ou les numéro(s) d’identification(s) suivant(s).

### **Le jour de l’expérimentation:**

#### **Avant l’arrivée des participants:**

1. Vérifier que la salle est réservée et qu’elle sera bien ouverte. De plus, vérifier que les ordinateurs sont en état de marche.
2. Vérifier la liste d’inscription pour vérifier qu’il n’y a pas plus de participants que de poste informatique.
3. Mettre un écriteau sur la porte de la salle d’expérimentation: “Session d’expérimentation en cours, veuillez ne pas déranger ».
4. Demander aux étudiants qui occupent la salle de partir car la salle ayant été réservée, elle est alors indisponible pour eux.
5. **Préparer le nombre approprié d’ordinateur, et en préparer 2 ou 3 en plus au cas où d’autres étudiants souhaiteraient participer. Si possible mettre une place de libre entre chaque ordinateur. Pour cela entrer ses logins**
6. **Préparer également des post-its avec le numéro d’identification des participants**
7. Ouvrir Chrome.

Aller à l'adresse suivante :

<http://chocap.github.io/expe2/>

Et mettre la page web en plein écran en appuyant sur **F11**.

Procedural Sequence:

Total estimated running time = **30 minutes**

1. Souhaiter la bienvenue et remercier pour la participation volontaire.
2. Diriger chaque participant vers un poste informatique. Leur demander d'attendre les instructions avant de commencer et de ne pas toucher aux ordinateurs. Leur dire qu'il n'y aura pas de pause et leur encourager à aller aux toilettes avant de commencer.

<<<<<<<<<<<< Leur demander d'émerger sur la feuille de recrutement >>>>>>>>>>>>

3. Attendre quelques minutes pour les retardataires. Commencer la session à pas plus de 5 minutes après l'heure. Dès que les participants se sont bien installés commencer à lire les instructions. (Lire à haute voix ce qui est en **gras**):

4. **“Bonjour à tous, je suis \_\_\_\_\_ et je suis doctorante à l’université de Grenoble au laboratoire des Sciences de l’éducation. Et c’est dans ce cadre qu’aujourd’hui je vous propose de contribuer à mes recherches.**

**Je voudrais vous remercier pour votre participation volontaire à cette étude qui selon votre vitesse ne devrait pas durer plus de 30 minutes.**

**Dans le cas où vous ne pouvez pas rester pour les 30 minutes à venir ou vous ne voudrez plus participer, vous pouvez sans problème quitter la salle dès maintenant.”**

<pause>

**“Veuillez également ne pas consulter votre téléphone portable pendant l’étude, je vous conseille de le mettre en mode avion ou de l’éteindre pour la durée de l’étude.**

**De plus, de part la nature de cette étude aucune pause ne sera possible. En effet, toutes interruptions pendant cette passation pourrait corrompre les données et les rendre inutilisables.”**

<pause>

**“Dans cette étude, votre tâche est de répondre à plusieurs questionnaires de nature différente en ligne. Je vais vous demander de ne pas essayer de quitter la page que vous avez à l’écran tout au long de la session.**

**Les consignes vous sont toujours indiquées, ainsi je vous demande de bien lire les consignes à chaque fois.**

**Cette étude se déroule en 5 parties que vous pouvez parcourir à votre rythme. Cependant une participation sérieuse nécessite au moins 15 minutes, si vous finissez avant vous ne serez rémunéré que de moitié.**

**Lorsqu'un numéro d'identification vous sera demandé il s'agira toujours du même numéro que vous trouverez sur un post-it devant vous. Pensez à bien noter les 3 chiffres qui vous sont donnés et qui seront toujours les mêmes à chaque fois qu'on vous les redemande.**

**Lors de cette étude vous serez amené à répondre à des questionnaires, il n'y a pas de bonne réponse, seule votre opinion nous intéresse.**

**Ces questionnaires seront précédés de pages d'explication qu'il faudra bien lire. Je vous demanderais d'être patient lors des chargements des pages qui pourraient prendre du temps.**

**Je reste à votre disposition pour toute autre question que vous pourriez avoir durant la passation.**

**Dès que vous aurez fini, laissez l'écran sur la page de fin, et venez me voir pour recevoir le document qui permettra de recevoir votre rémunération.**

**Si vous n'avez toujours pas de questions, vous pouvez poursuivre."**

**Est-ce qu'il y a des questions?"** (Répondre aux questions sans rien dévoiler des hypothèses de l'étude.)

<pause>

<Regarder dans la salle s'il y a des questions ou des interrogations, sinon commencer.>

<FIN>

## Débriefing

### Fin de l'étude : Debriefing

Merci pour votre participation à cette expérience. Vous venez de compléter une série de tâches qui a pour but de déterminer votre compréhension de deux formes possibles de communication de la voiture autonome.

**Si vous voulez en savoir plus sur cette étude, vous pouvez lire le texte ci-dessous, sinon merci de cliquer sur TERMINER pour finir l'étude.**

La voiture autonome est une innovation qui devrait voir le jour d'ici 2025. Cependant plusieurs questions sont en suspens et la communication entre la voiture autonome et le piéton est l'une d'entre elles. Plus précisément, on cherche à savoir quelle doit être la nature et la forme de ces échanges afin de remplacer le contact visuel qui a lieu avec un chauffeur dans les voitures traditionnelles. C'est pourquoi nous menons aujourd'hui cette recherche.

Vous avez été exposé aux 2 formes de communication que propose cette expérience. Il faut bien noter que ces formes de communication n'existent pas, elles ne sont utilisées que dans un but expérimental.

Le premier questionnaire qui vous a été présenté a pour objectif de déterminer une possible déficience visuelle au rouge et au vert.

Le deuxième questionnaire cherche à évaluer votre compréhension de ces formes de communication de la voiture autonome hors contexte.

Le troisième questionnaire avait pour but de vous présenter dans un contexte de traversée de rue la voiture autonome et ses différentes formes de communication. Il s'agissait d'évaluer vos comportements de traversée en réponse aux messages transmis par la voiture autonome.

Dans le cas où vous auriez des interrogations à propos de cette étude, ou vous voulez simplement en savoir plus, vous pouvez contacter le responsable de cette expérimentation à partir des coordonnées suivantes :

Emeline Ahtchine emeline.ah-tchine@univ-grenoble-alpes.fr

**Veillez s'il vous plaît ne pas discuter de cette étude avec d'autres participants potentiels. Il est très important que ceux-ci participent dans le même état d'esprit que vous. De ce fait, il est nécessaire qu'ils ne sachent rien concernant cette expérience avant qu'ils n'y prennent part.**

Encore, merci de votre participation.

TERMINER L'ETUDE

## Etude du chapitre 5

### Consentement éclairé



## FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

### I. Introduction

Merci de votre participation à cette étude sur la prise de décision concernant la sécurité routière dans un environnement virtuel. N'hésitez pas à poser des questions de façon à être bien sûr(e) de comprendre la procédure de l'étude, les implications de votre participation, les tâches à réaliser, incluant les risques et bénéfices.

### II. But de l'étude

Le but de cette étude est de faire l'observation de vos décisions prises selon un contexte donné.

### III. Participants à l'étude

La participation est libre et volontaire. Ce formulaire d'information et de consentement a pour but de vous informer sur les différents aspects de cette expérimentation afin que vous puissiez participer en tout état de cause. Il est important pour vous de savoir que cette étude est conforme aux recommandations éthiques de l'Association Américaine de Psychologie (APA). L'APA rappelle que vous pouvez à tout moment vous soustraire de cette expérience à n'importe quelle étape de cette session qui dure entre 30 et 50 minutes.

### IV. Procédure

Il est important que vous lisiez bien les consignes tout au long de l'expérimentation.

L'expérimentation consiste en cinq parties :

1. Vous allez vous équiper d'un casque de réalité virtuelle ainsi que d'un casque audio,
2. Vous allez être familiarisé à l'environnement virtuel en réalisant une tâche,
3. Vous allez avoir trois situations d'entraînements à la tâche principale,
4. Vous allez faire la tâche principale de prise de décision qui consiste en 30 décisions de traversée,
5. Vous allez répondre à un questionnaire d'usage,
6. Vous allez répondre à un questionnaire sur des données vous concernant,
7. Vous aurez la possibilité de prendre connaissance du débriefing.

### V. Risques et inconvénients

L'utilisation prolongée de la réalité virtuelle a parfois révélé causer des sensations de vertiges (*motion sickness*) même si tout le monde n'est pas nécessairement concerné. De ce fait si vous commencez à ressentir des sensations désagréables, n'hésitez pas à faire signe au responsable de l'étude.

### VI. Bénéfices



En participant à cette étude, vous contribuez de façon importante à l'adaptation de ces technologies à l'humain. Les domaines d'application se définissent dans les sciences de l'éducation, les interfaces homme-machine, et la prévention routière.

## VII. Confidentialité

Les données, une fois recueillies, seront enregistrées de façon anonyme dans une base de données puis elles seront traitées pendant la phase d'analyse des données. Les résultats de ces analyses seront anonymisés et il ne sera pas possible de recouper ces informations avec votre identité. Il ne sera pas possible de vous identifier dans aucun des rapports de l'étude, conformément à la législation en vigueur.

Les résultats de cette étude pourront être publiés dans des revues scientifiques ou diffusés lors de conférence. L'anonymat et la confidentialité des données recueillies est garantie par l'ensemble des partenaires de ce projet. Conformément aux dispositions de la CNIL (loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés), vous disposez d'un droit d'accès et de rectification.

L'autorisation d'utiliser vos données reste volontaire, elle reste valide jusqu'à la fin de l'étude à moins que vous ne décidiez de la retirer avant. Si vous décidez de retirer votre consentement à participer, merci de contacter le responsable de l'étude.

A partir du moment où vous vous retirez de cette expérimentation, vos données ne seront utilisées dans aucune des phases ultérieures dudit projet. Cependant les documents qui auraient déjà été publiés ne pourront pas être modifiés.

## VIII. Personne contact

Pour plus d'informations sur cette étude, vos droits en tant que participant, si vous n'étiez pas satisfait ou si vous aviez des questions concernant cette recherche, merci de bien contacter le responsable de l'étude : Emeline Ah-tchine [emeline.ah-tchine@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:emeline.ah-tchine@univ-grenoble-alpes.fr)

## IX. Consentement

Votre participation à cette étude n'est possible que si vous signez librement ce formulaire de consentement et autorisez l'utilisation des données recueillies. Si vous ne le souhaitez pas, merci de ne pas signer et de ne pas participer.

Je soussigné(e), Mme, M (Nom, Prénom) .....

**accepte librement de participer à la recherche intitulée « Prise de décision concernant la sécurité routière » :**

- J'ai bien pris connaissance du formulaire de consentement et d'information
- J'ai reçu des réponses adaptées à toutes mes questions,
- J'ai compris que ma participation est libre et que je pourrai l'interrompre à tout moment, sans subir de préjudice ni conséquences,
- J'ai bien été informé(e) que ma participation à cette recherche durera entre 30 et 50 minutes,

- J'ai été informé(e) que les informations et enregistrements me concernant et recueillis au cours de cette expérimentation resteront confidentiels et ne pourront être consultés que par l'équipe de recherche.

**Signature de la personne participant à la recherche**

Date :

Signature :

## Questionnaire Trusworthiness

### 1. Votre numéro d'identification anonyme \*

\_\_\_\_\_

Veillez répondre à toutes les questions suivantes selon les deux modalités "en tant que piéton" et "en tant que passager" sur une échelle de 1 (En total désaccord) à 7 (Totalement d'accord).

### 2. Je me méfierais de la voiture autonome... \*

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 3. La voiture autonome sera fiable... \*

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 4. Je confierais ma vie à la voiture autonome... \*

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 5. Je pourrais compter sur la voiture autonome... \*

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**6. La voiture autonome pourrait être à l'origine de graves conséquences ... \***

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**7. Je ferais confiance à la voiture autonome... \***

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**8. Je suppose que la voiture autonome fonctionnera correctement... \***

*Mark only one oval per row.*

	En total désaccord 1	2	3	Ni en accord, ni en désaccord 4	5	6	Totalement d'accord 7
...en tant que piéton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...en tant que passager	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Questionnaire démographique

1. Votre numéro d'identification anonyme \*

---

2. Quelle est votre année de naissance ? (Sous la forme AAAA) \*

---

3. Vous êtes ? \*

*Mark only one oval.*

- Un homme
- Une femme
- Je ne préfère pas le préciser

4. Avez-vous des enfants ? \*

*Mark only one oval.*

- Oui
- Non
- Je ne préfère pas le préciser

5. Quel est votre niveau et discipline d'étude ? (Exemple: Bac + 3 Chimie) \*

---

6. Quel est votre nationalité ? \*

*Mark only one oval.*

Française

Other: \_\_\_\_\_

7. Quelle est votre langue maternelle ? \*

*Mark only one oval.*

Française

Other: \_\_\_\_\_

8. Avez-vous obtenu le code de la route ? \*

*Mark only one oval.*

Oui

Non

Je ne préfère pas le préciser

Other: \_\_\_\_\_

9. Avez-vous obtenu le Permis B ? \*

*Mark only one oval.*

Oui

Non

Je ne préfère pas le préciser

Other: \_\_\_\_\_

10. Avez vous déjà été impliqué ou témoin d'un accident de voiture ? \*

*Mark only one oval.*

Oui

Non

Je ne préfère pas répondre

## La réalité virtuelle

11. Avez-vous déjà testé la réalité virtuelle avant aujourd'hui ? \*

*Mark only one oval.*

Oui

Non

12. Comment évaluez vous votre niveau en réalité virtuelle ? \*

*Mark only one oval.*

- Novice
- Débutant
- Intermédiaire
- Expert

13. Lorsque vous étiez en réalité virtuelle, comment évaluez vous votre état ? \*

*Mark only one oval.*

	0	1	2	3	4	5	
Pas du tout nauséeux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Très nauséeux

14. Quels ont été les éléments qui vous ont permis de prendre vos décisions de traverser ? \*

---

### Véhicules traditionnels et autonomes

15. J'ai remarqué une/des différence(s) entre la voiture traditionnelle et la voiture autonome \*

*Mark only one oval.*

- Oui    *Skip to question 16*
- Non    *Skip to question 17*
- Je ne sais pas    *Skip to question 17*
- Other: \_\_\_\_\_



16. Si OUI, quelles différence(s) entre la voiture traditionnelle et la voiture autonome avez vous noté ?

---

17. Cochez la réponse qui vous convient \*

*Mark only one oval.*

- J'avais plus confiance envers les voitures traditionnelles (avec chauffeur)
- J'avais plus confiance envers les voitures autonomes (sans chauffeur)
- J'avais autant confiance envers la voiture traditionnelle que la voiture autonome
- Je n'avais aucune confiance envers les deux voitures
- Other: \_\_\_\_\_

18. La voiture autonome \*

*Mark only one oval.*

- Je n'en ai jamais entendu parler jusqu'à présent
- J'avais une vague idée de ce que cela pouvait être
- Je m'y suis déjà intéressé(e)
- J'en ai déjà vu/essayé
- Other: \_\_\_\_\_

19. Avez-vous des remarques, suggestions ou un message pour le responsable de cette étude ?
- 

### Environnements de traversée



Procédure détaillée

## ***Running Procedure* pour “Prise de décision en réalité virtuelle”**

### **Au préalable :**

Faire les réservations de la salle immersive avec le secrétariat de la maison des Open labs.

### **Un jour avant:**

4. Bien vérifier que les participants ont bien reçu un e-mail de confirmation de leur inscription, avec la date, l’heure, et le plan pour accéder au bâtiment.
5. Regarder les données et décider quelles sont les conditions expérimentales qui ont besoin de participants pour équilibrer les conditions.
6. Vérifier que l’ordinateur portable pour les questionnaires est chargé et dispose d’une souris et de son chargeur.
7. Vérifier que les manettes ont été mises en charges.

### **Le jour de l’étude:**

#### **Avant l’arrivée des participants:**

8. Récupérer la clé du meuble VR en salle immersive. Ouvrir le meuble.
9. Installer les satellites. Un satellite se place sur un trépied, le brancher grâce à la rallonge. Brancher le deuxième satellite qui se situe en hauteur en montant à l’échelle.
10. Allumer l’ordinateur sans brancher le casque HTC vive.
11. Une fois l’ordinateur allumé, faire les branchements du casque HTC Vive.
12. Ouvrir *SteamVR* et lancer « l’assistant de calibration de la pièce ». Allumer les manettes et les faire borner à chaque gommette verte qui se situe au sol. Bien vérifier que le périmètre de jeu est bien au centre de la pièce.



**Au préalable vous aurez une petite phase de familiarisation où vous devrez rejoindre un lapin puis bien rester sur votre position jusqu'à ce qu'il disparaisse et le chercher du regard jusqu'à ce que des yeux l'entourent. Il faut savoir que ce lapin est là pour vous guider mais aussi pour vous positionner sur le trottoir et face à la route à traverser. Il sera donc à rejoindre et à regarder avant chaque situation de traversée.**

**Dans les carrefours que vous aurez à traverser, il y aura deux types de voitures qui pourront être présentes, des voitures traditionnelles et des voitures autonomes. [Montrer les slides]**

**Si condition T0 :**

- **La voiture traditionnelle se présente comme ceci, avec un chauffeur à son bord.**
  - **Son chauffeur est visible et elle dispose de clignotants et de phares**



- **La voiture autonome dispose**
  - **(T0) De nombreux dispositifs pour pouvoir assurer une conduite automatisée:**
    - **Un lidar sur le toit**
    - **Des capteurs tels que des accéléromètres, gyromètres, radars et gps**



**Si condition T1**

- **La voiture traditionnelle se présente comme ceci, avec un chauffeur à son bord.**
  - **Son chauffeur est visible et elle dispose de clignotants et de phares**
- **La voiture autonome dispose d'une indication sur le toit de sa vitesse en km/h, avec une flèche qui monte si la vitesse augmente, une flèche qui descend si la vitesse diminue**



**Si condition T2**

- **La voiture traditionnelle se présente comme ceci, avec un chauffeur à son bord.**
  - **Son chauffeur est visible et elle dispose de clignotants et de phares**
- **La voiture autonome dispose d’une indication sur le toit de ce que peut faire le piéton, passer, ne pas passer, et signale un danger pour le piéton.**



**Je vous demanderais de bien lire les consignes qui vous expliqueront chaque étape.**

**Il faudra également faire attention au fil et ne pas vous emmêler les pieds dedans.**

**N’hésitez pas si vous avez une question ou un quelconque souci, je suis là pour vous assister.**

**Lorsque vous aurez fini avec la partie casque vous aurez quelques questions à répondre sur l’ordinateur devant vous.”**

**« Maintenant si vous êtes prêt(e) et que vous n’avez pas de question on peut commencer à s’équiper du casque de réalité virtuelle. »**

Equiper du casque HTC vive : prendre le temps pour que le participant ajuste bien le casque à sa taille pour éviter que sa vision ne soit floue. Puis équiper le participant du casque audio et lui donner les manettes. Vérifier qu’il/elle a bien compris le fonctionnement des manettes.

<Partie réalité virtuelle>

1. Veuillez à ce que l’application fonctionne correctement.

2. Surveiller que le participant ne se mêle pas dans les fils.
3. Répondre aux éventuelles questions sans pour autant influencer la décision de traverser.

<Déséquippement du casque de réalité virtuelle>

1. Aider au déséquippement du participant : prendre les manettes, enlever le casque audio, et laisser le participant enlever le casque.
2. Demander au participant si il/elle se sent bien.
3. Répondre aux éventuelles questions et remarques mais garder l'échange court. Diriger le participant vers le PC pour le passage des questionnaires qui ont été préparés préalablement.
4. Passer le questionnaire n°1 (Trustworthiness)
5. Puis lorsque le participant indique qu'il/elle a fini, venir et le mettre sur la page du questionnaire démographique.
6. Lorsque le participant a terminé, lui expliquer le débriefing si nécessaire. Le remercier à nouveau de sa participation et de sa venue et le raccompagner à la porte.

**Fin de la journée**

1. Copier les fichiers de données sur une clé USB.
2. Fermer les applications et éteindre l'ordinateur. Eteindre également l'ordinateur portable.
3. Mettre les manettes en charge.
4. Débrancher le satellite fixé en haut en montant sur l'échelle.
5. Ranger le satellite qui se trouve sur le trépied, ainsi que le trépied dans le meuble VR.
6. Ranger le matériel dans le meuble VR qui est à fermer à clefs.
7. Eteindre les multiprises et veuillez à ce que la salle soit rangée. Mettre l'échelle dans un coin.

## Débriefing



### DEBRIEFING

Merci pour votre participation à cette expérience.

Vous venez de compléter une série de tâches qui a pour but de déterminer l'influence du type de voiture (classique ou autonome) sur la décision de traverser.

La décision de traverser d'un piéton peut être influencée par les caractères intrinsèques à l'individu (son âge, son genre, son statut marital, sa culture, ses croyances) mais aussi par des éléments extérieurs tels que la localisation, la configuration et l'infrastructure de la chaussée, les éléments de signalisation mise en place, etc. Cependant il n'y a pas encore de recherche sur l'influence du type de voiture. C'est pourquoi nous menons aujourd'hui cette recherche en ce qui concerne les voitures autonomes.

Vous avez été exposé aux 4 conditions que propose cette expérience. Ces conditions se définissent par l'absence ou la présence de passages piétons et de feux piétons ainsi que de la variation du type de véhicule.

Un premier questionnaire vous a été présenté et étudie votre niveau de confiance envers la voiture autonome. Puis vous vous êtes familiarisés à l'environnement virtuel, avant de procéder à la tâche principale qui est de prendre des décisions de traversée dans les situations proposées selon la configuration des feux, des passages piétons, le type et la direction des 6 voitures présentes au carrefour.

Selon nos hypothèses, on s'attend à ce qu'il y ait une influence négative de la voiture autonome sur la traversée de rue, mais que celle-ci serait rétabli par la présence de passage piéton et de feu vert piéton. Il y a en effet de nombreuses études sur la traversée de rue des piétons qui pourraient nous guider mais aucune d'entre elles ne s'intéressent à la voiture autonome, une technologie nouvellement annoncé et encore en voie de développement en plus d'être partiellement mise sur le marché.

Dans le cas où vous auriez des interrogations, ou vous voulez en savoir plus, vous pouvez contacter le responsable de l'étude à partir des coordonnées suivantes :

[emeline.ah-tchine@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:emeline.ah-tchine@univ-grenoble-alpes.fr)

**VEUILLEZ S'IL VOUS PLAÎT NE PAS DISCUTER DE CETTE ETUDE AVEC D'AUTRES PARTICIPANTS POTENTIELS, IL EST TRES IMPORTANT QUE CEUX-CI PARTICIPENT DANS LE MEME ETAT D'ESPRIT QUE VOUS. DE CE FAIT, IL EST NECESSAIRE QU'ILS NE SACHENT RIEN CONCERNANT CETTE EXPERIENCE AVANT QU'ILS N'Y PRENNENT PART.**

Encore merci de votre participation. Nous espérons que vous avez davantage pris plaisir à participer que l'on a eu à préparer cette expérience.