

Louvain School of Management

Quelles règles éthiques pour les véhicules autonomes en cas d'accident ?

Auteur : Sacha ISRAEL COLLIER
Promoteur(s) : Axel GOSSERIES
Année académique 2019-2020

Je voudrais remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens d'abord à remercier mon promoteur de mémoire Axel Gosseries pour sa disponibilité, sa lecture consciencieuse et ses nombreuses remarques constructives.

Ensuite, je tiens à remercier Iannis Leonidakis et Philippe VanLil pour leurs lectures et les nombreuses discussions qui m'ont permis de challenger mes idées et mes recherches.

Finalement, je tiens à remercier ma famille pour son soutien durant l'écriture de ce mémoire et ses conseils lors de la relecture de celui-ci.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
PARTIE I : ANALYSE DU VEHICULE AUTONOME	4
CHAPITRE 1 : QU'APPELLE-T-ON VÉHICULE AUTONOME ?	4
1. <i>Définition</i>	4
1.1. Quels sont les différents niveaux d'autonomie ?	5
Niveau 0 : Pas d'autonomie, aucune assistance	5
Niveau 1 : Assistance à la conduite, "eyes on-hands on"	5
Niveau 2 : Automatisation partielle, "eyes on-hands off"	6
Niveau 3 : Automatisation conditionnelle, "eyes off-hands off"	6
Niveau 4 : Autonomie élevée, "eyes off-hand off-mind off"	6
Niveau 5 : Automatisation complète, "driverless"	7
CHAPITRE 2 : EN QUOI L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EST-ELLE UTILE AU SECTEUR AUTOMOBILE ?	8
1. <i>Que dire de l'IA dans le secteur automobile ?</i>	9
2. <i>Aspects pratiques</i>	10
2.1. Infrastructure	10
2.2. Technique de la voiture	12
CHAPITRE 3 : QUELS SONT LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE CE TYPE DE VÉHICULE ?	14
1. <i>Avantages</i>	15
1.1. Diminution des accidents	15
1.2. Augmentation de l'accès à la mobilité	15
1.3. Réduction des problèmes de congestion	16
1.4. Aide pour l'environnement	16
1.5. Moins de stress et augmentation de la productivité	17
2. <i>Inconvénients</i>	18
2.1. Acceptation et éducation	18
2.2. Atteinte à la vie privée	18
2.3. Piratage	19
2.4. Infrastructure et conditions météorologiques	19
2.5. Coût	20
2.6. Responsabilité	20
PARTIE II : ASPECTS ETHIQUES.....	22
CHAPITRE 1 : QUE NOUS APPORTE LE DILEMME DU TRAMWAY ?	23
CHAPITRE 2 : UNE PROGRAMMATION À LA CARTE EST-ELLE ÉTHIQUEMENT ACCEPTABLE ?	29
1. <i>Moral Machine</i>	30
2. <i>Résultat de l'étude</i>	32
3. <i>L'éthique doit-elle se conformer aux convictions du grand public ?</i>	36
3.1. Quelles questions éthiques pourraient se poser lors d'un accident ?	36
3.1.1. Un choix en fonction du sexe ou de la couleur de peau est-il acceptable ?	37
3.1.2. Le critère du nombre doit-il entrer en ligne de compte dans la programmation du véhicule ?	37
3.1.3. Le critère de l'âge est-il pertinent ?	38
3.1.4. Devons-nous tenir compte de la robustesse des véhicules ?	39
3.1.5. Dans quelle mesure le respect du Code de la route est-il déterminant ?	40
3.1.6. Prise en compte multifactorielle	40
3.2. Peut-on vraiment parler de véhicule « autonome » ?	43
3.3. Le comité d'éthique pluridisciplinaire	45
3.3.1. Les éthiciens	46
3.3.2. Les hommes politiques	47
3.3.3. Les sociologues	47
3.3.4. Les philosophes	47
3.3.5. Les médecins	48
3.3.6. Les spécialistes du code de la route	48
3.3.7. Les comités des citoyens	49
3.3.8. Les programmeurs	49
4. <i>Est-il pertinent de laisser chaque utilisateur choisir son mode de conduite ?</i>	49
5. <i>Est-il pertinent d'adapter les règles éthiques à la culture locale ?</i>	52

CONCLUSION.....	55
BIBLIOGRAPHIE	58
ANNEXES.....	63

INTRODUCTION

Au cours des dernières années, les industries technologiques et automobiles ont fait d'énormes progrès en associant l'informatisation à ce qui, pendant plus d'un siècle, fut une fonction exclusivement humaine : la conduite. En 2009, Google a commencé à développer un projet de véhicule autonome, le projet Waymo (Waymo, 2019). Quatre ans plus tard, BMW, Mercedes, Audi et d'autres acteurs de l'industrie automobile ont annoncé le développement de leurs propres technologies en matière de véhicules autonomes (Harris, 2015). Aujourd'hui, le développement et l'instauration des véhicules autonomes sur nos routes sont des sujets fort au premier plan dans les médias, la politique, les débats philosophiques et l'industrie de la recherche. Le concept suscite un intérêt croissant des grands noms du secteur automobile. Bien que leur introduction constitue un progrès énorme à de nombreux niveaux, les véhicules autonomes constituent toutefois une technologie novatrice synonyme de complexités nouvelles. S'ils ont par exemple le potentiel d'améliorer radicalement le trafic routier, ils exigent des adaptations de taille du Code de la route.

D'après une enquête réalisée à l'échelon des États-Unis, la première cause des accidents de la route – dans 94 % des cas – est attribuée à la conduite humaine (National Highway Traffic Safety Administration, 2015). Toutefois, même dans un système de conduite automatisé parfaitement conçu et absolument infaillible, certains accidents seront inévitables. Tout d'abord parce que, dans un premier temps du moins, les véhicules autonomes seront à coup sûr introduits aux côtés des véhicules conduits par les humains. Ensuite, ils se déplaceront dans des zones occupées par des usagers de la route, comme les piétons et les cyclistes, aux comportements parfois imprévisibles. Dès lors, ces véhicules seront confrontés à des situations de dilemme dans lesquelles il sera nécessaire d'opérer des choix. Même si, à priori, ces événements seront rares, des études empiriques ont démontré que ces situations de dilemme ont d'ores et déjà une influence importante sur l'attitude que les gens adoptent de nos jours à l'égard de l'acceptation des véhicules autonomes.

C'est pourquoi les questions éthiques actuelles portent sur le fait de savoir comment programmer ces véhicules lorsqu'ils seront confrontés à des situations de danger. Quelle sera

la programmation des algorithmes qui guideront ces véhicules ? Les réponses apportées devront être éthiquement partagées par la majorité des gens et être moralement justifiables lors de situations de dilemme.

Alors que les conducteurs humains doivent réagir intuitivement et peuvent donc être excusés pour un comportement non éthique lors d'une situation de dilemme, les véhicules autonomes seront programmés à l'avance et ne bénéficieront pas d'une telle clémence. Les programmeurs des véhicules autonomes seront donc soumis à des contraintes supplémentaires. Au motif qu'ils ont accès à de nombreuses informations, ils ne bénéficieront pas de l'excuse du temps de réaction des conducteurs humains. Ils devront satisfaire aux exigences élevées de la société et seront jugés sur la base de ces règles morales.

Le présent mémoire vise dès lors à répondre à la question de recherche suivante : « **Quelles règles éthiques pour les véhicules autonomes en cas d'accident ?** ». Le management est un domaine très vaste. Tout bon manager est une personne qui a toujours une longueur d'avance et qui voit des solutions à un problème qui peut se poser. Il a une vision à très long terme. La société dans laquelle nous évoluons est une société où la technologie prend de plus en plus de place. Les véhicules autonomes n'existent pas encore de manière effective, mais il est important de déjà anticiper leur arrivée et de tout mettre en place pour permettre leur acceptabilité et leur commercialisation. Pour y parvenir, il convient tout d'abord d'aborder la question fondamentale de l'éthique. Dans cette optique, ce mémoire propose une liste de concepts à mettre en place et de règles à suivre pour ce type de véhicules.

Le mémoire est divisé en deux parties principales. La première poursuit un double objectif : d'une part, expliquer ce que sont les véhicules autonomes et leur mode de fonctionnement, en vue de comprendre comment ils réagiront lorsqu'ils seront introduits sur nos routes ; d'autre part, analyser leurs avantages et inconvénients, afin de prendre conscience des besoins et du type de programmation qui pourrait être implémenté dans ce type de véhicules.

La seconde partie de ce mémoire est une analyse des différentes théories éthiques. Celle-ci commence par l'étude d'une expérience parmi les plus connues en matière d'éthique et de dilemme, le *dilemme du tramway*, en vue de mettre en évidence les différentes notions

d'éthique en jeu dans le cadre des véhicules autonomes. Ensuite, nous analyserons la plus grande étude quantitative au monde qui traite des différences culturelles liées à des choix impliquant des véhicules autonomes, afin d'explorer les dilemmes moraux. De plus, nous tenterons d'établir une ligne de conduite basée sur les préférences morales en analysant différents critères. Pour terminer, nous étudierons la possibilité de mettre en place un comité d'éthique pluridisciplinaire, une solution qui nous paraît plus qu'opportune et certainement très représentative de la communauté scientifique et de la société civile. Ce comité aura pour but de répondre aux questions morales qui se posent et de satisfaire aux nombreuses exigences liées aux véhicules autonomes. Nous challengerons également cette solution en analysant la possibilité de permettre des choix individuels sur le plan éthique et moral ainsi que celle d'établir des règles éthiques différentes en fonction des pays.

PARTIE I : ANALYSE DU VEHICULE AUTONOME

Cette première partie se compose de trois chapitres. Le premier est consacré à l'étude du véhicule autonome. Nous donnons une définition ainsi qu'un bref historique et définissons différents niveaux d'autonomie. Le deuxième chapitre définit le concept d'intelligence artificielle (IA) et son impact sur le secteur automobile, et détaille les aspects pratiques des véhicules autonomes dirigés par l'IA. Le troisième chapitre porte sur l'analyse des avantages et inconvénients.

Chapitre 1 : Qu'appelle-t-on véhicule autonome ?

1. Définition

Le concept de véhicule autonome est déjà étudié depuis de nombreuses années. L'idée trouve son origine lors de l'exposition de General Motor à la Foire universelle de New-York en 1939 (Becker et al., 2014). Le groupe automobile présente alors sa vision de l'avenir des routes et des véhicules avec, à l'appui, des maquettes de grandes routes sur lesquelles la vitesse et la distance entre les véhicules sont contrôlées. Cette idée est toujours restée à l'esprit des plus grands concessionnaires automobiles mais a surtout connu un développement considérable ces dernières années. Bien que ces véhicules ne soient pas encore disponibles sur le marché, l'intérêt est grandissant grâce aux progrès technologiques considérables ainsi qu'au soutien de cette idée par les plus grandes marques automobiles telles que BMW, Ford, Mercedes et Toyota ainsi que par des entreprises technologiques de renom comme Apple ou Google (Harris, 2015).

Les véhicules autonomes possèdent des technologies regroupées sous le terme « ADAS » (Advanced Driver-Assistance System). Ces technologies permettent aux véhicules de se déplacer seuls sur les routes, selon différents niveaux d'autonomie, et d'opérer des choix sans quasiment aucune intervention humaine. Nous utilisons le terme « quasiment » car, d'une part, la programmation des algorithmes qui guideront les véhicules autonomes se fera par les êtres humains et, d'autre part, l'utilisateur du véhicule devra programmer lui-même la destination à laquelle il souhaitera se rendre (Kavitha et al., 2016).

1.1. Quels sont les différents niveaux d'autonomie ?

Bien que les chercheurs et les constructeurs se montrent optimistes en annonçant l'arrivée des véhicules autonomes d'ici à 2025, nous devons nous montrer réalistes. De nombreux obstacles restent encore présents et l'utilisation des véhicules autonomes devra se faire petit à petit afin de préparer les utilisateurs à cette nouvelle technologie. En outre, avant qu'un véhicule entièrement autonome puisse circuler sur nos routes, il devra passer par six niveaux d'autonomie (Figure 1) en matière d'assistance à la conduite (Leclercq, 2017). La *Society of Automotive Engineers*¹ (SAE) ordonne ces niveaux, du niveau 0 – entièrement manuel – au niveau 5 – entièrement autonome –. Ci-dessous, nous définissons et apportons des précisions pour chacun des niveaux.

Niveau 0 : Pas d'autonomie, aucune assistance

Le niveau 0 signifie qu'il n'y a aucune automatisation. Il correspond à la majorité des véhicules en circulation aujourd'hui. La responsabilité de la conduite, indépendamment du niveau d'assistance technique du véhicule, incombe entièrement aux conducteurs. Les témoins lumineux ou le freinage d'urgence sont considérés comme une assistance à la conduite et non comme une automatisation car ils ne permettent pas une conduite indépendante. (Chatterjee, 2018).

Niveau 1 : Assistance à la conduite, "eyes on-hands on"

Le niveau 1, niveau d'automatisation le plus bas, correspond aux véhicules dotés d'un seul système d'automatisation à la conduite. C'est le cas de l'accélération automatique par exemple. Ce système permet de maintenir une certaine distance de sécurité entre deux véhicules. L'intervention du conducteur est cependant indispensable en cas de freinage ou du maintien de la direction du véhicule. Le suivi des lignes blanches est un deuxième exemple. Le conducteur doit être présent à 100% du temps et rester concentré comme au niveau 0 (Chatterjee, 2018).

¹ Société des ingénieurs de l'automobile.

Niveau 2 : Automatisation partielle, “eyes on-hands off”

Le niveau 2 est l’automatisation partielle. Il correspond aux systèmes avancés d’aide à la conduite (ADAS). La différence avec le premier niveau est que le véhicule peut être doté de deux systèmes d’aide à la conduite, programmés pour contrôler la direction ainsi que l’accélération et la décélération du véhicule. Cependant, le conducteur doit toujours rester vigilant au système et à l’environnement du véhicule afin de reprendre le contrôle si nécessaire. (Chatterjee, 2018).

Niveau 3 : Automatisation conditionnelle, “eyes off-hands off”

Le passage au niveau 3, celui de l’automatisation conditionnelle, est substantiel d’un point de vue technologique mais subtil, voire négligeable, d’un point de vue humain. À partir de ce niveau, les véhicules sont programmés pour visualiser leur environnement de conduite et agir s’il le faut. À ce niveau, le conducteur doit toujours rester vigilant. La différence avec les niveaux précédents est que le véhicule est en mesure d’être parfaitement autonome dans certaines conditions prédéfinies, comme sur l’autoroute. Par exemple, dépasser un véhicule plus lent est l’une des tâches autonomes de niveau 3 (Chatterjee, 2018).

Il y a trois ans, le groupe Volkswagen a annoncé que la prochaine génération de l’Audi A8 serait le premier véhicule de niveau 3 au monde (Fontaine, 2017). Le véhicule sera alors programmé de manière à appréhender les dangers, maintenir les distances de sécurité, accélérer ou décélérer et dépasser un véhicule lorsque le clignotant est activé.

Niveau 4 : Autonomie élevée, “eyes off-hand off-mind off”

La différence principale entre le niveau 4, celui d’automatisation de conduite à haute vitesse, et le niveau 3 est qu’aucune intervention de la part du conducteur n’est demandée. Cependant, à ce niveau, l’autonomie totale n’est possible que sous des conditions prédéfinies, comme une zone géographique telle qu’une autoroute ou des conditions météorologiques compatibles avec le véhicule. Le conducteur n’est alors plus responsable de la conduite mais reste dans l’obligation de reprendre les commandes lorsque le véhicule quitte les conditions prédéfinies. Le plus par rapport au niveau 3 est que le véhicule doit être en mesure de s’arrêter tout seul en cas d’absence de réaction du conducteur (Rahmé, 2019).

Aujourd'hui, ces véhicules sont principalement conçus pour un service de covoiturage. Plusieurs producteurs automobiles ont déjà produit ou annoncé la production de modèles destinés à cette fin. Par exemple, le partenariat stratégique entre Volvo et Baidu a pour but de desservir le marché des robots-taxis en Chine (Volvo, 2018). Évoquons aussi la société Alphabet : pendant plus d'un an, elle a testé en Arizona un service de taxi automatique de niveau 4 et sur plus de 16 millions de kilomètres (Tubez, 2018).

Niveau 5 : Automatisation complète, "driverless"

Le dernier niveau, celui d'automatisation complète de la conduite, est le plus avancé. Les véhicules dotés de cette technologie n'auront besoin d'aucune intervention humaine ni d'aucune condition de route. Le véhicule est autonome à 100 %. Ces véhicules ne seront pas équipés d'accessoires conventionnels tels que le volant ou les pédales d'accélération et de freinage. Ils seront indépendants, aptes à se déplacer n'importe où et pourront entièrement remplacer un conducteur humain expérimenté. Ces véhicules sont actuellement testés dans plusieurs pays mais ne sont pas encore disponibles pour le grand public (Chatterjee, 2018).



Figure 1 - Les niveaux d'autonomie des véhicules autonomes (Rahmé, 2019)

Notons que le terme « autonome » est souvent une source de confusion. Nous le confondons traditionnellement avec celui de « pilotage automatique ». L'autonomie d'un véhicule signifie que celui-ci peut complètement se passer d'un conducteur humain, ce qui n'est pas le cas avec un pilotage automatique.

Autre remarque : le dernier niveau d'autonomie présenté ci-dessus représente une grosse contrainte en matière de sécurité et d'acceptation par le grand public. Faire entièrement confiance à une machine est problématique pour une majorité d'individus (Stanley, 2013). John Krafcik, le responsable de l'unité « Voitures autonomes » de la société mère Google a déclaré : « Il faudra des décennies avant que les voitures autonomes ne sillonnent les routes et, même dans ce cas, elles ne pourront pas, dans certaines conditions, se conduire seules ». (Tibken, 2018).

Ce premier chapitre nous a montré tout l'intérêt de l'évolution des véhicules en termes d'autonomie. Toutefois, ces avancées technologiques se doivent d'être encadrées par des règles éthiques. Avant d'arriver au dernier niveau d'autonomie, il sera également nécessaire de recourir à une technologie irréprochable. Se fier à une intelligence artificielle qui n'est pas encore totalement au point constituerait un risque que tout le monde n'est pas prêt à prendre.

Chapitre 2 : En quoi l'intelligence artificielle est-elle utile au secteur automobile ?

Les intelligences artificielles (IA) se font de plus en plus présentes et sont capables de réaliser un très grand nombre de tâches. Elles interviennent notamment dans le pilotage des véhicules autonomes. L'IA est une technologie clé pour un fonctionnement optimal des véhicules de niveaux 4 et 5. Toutefois, comme le souligne François Royer, directeur consulting Data Intelligence chez PwC, « l'intelligence doit être augmentée, c'est-à-dire au service de l'humain, plutôt qu'autonome. Nous devons construire un binôme humain-machine où l'IA devra offrir une compréhension intuitive pour l'humain. Elle devra être capable d'expliquer ses recommandations de façon simple et immédiate. » (Royer, 2020).

Le présent chapitre vise à analyser ce qu'est l'IA et comment elle fonctionne dans les véhicules autonomes.

1. Que dire de l'IA dans le secteur automobile ?

Le terme IA a été inventé en 1955 par l'informaticien John McCarthy. L'IA se caractérise par la possibilité pour un programme informatique, ou une machine à penser, à apprendre et à prendre des décisions (Gadam, 2018). Ces machines sont donc capables d'imiter le processus de la cognition humaine. Pour ce faire, les IA sont alimentées par de grandes quantités de données, qui sont ensuite analysées et traitées selon des principes logiques pour leur permettre d'aboutir à des conclusions et/ou réflexions rationnelles. Ce processus d'analyse n'est qu'un début. Augmenter le nombre d'applications de ces technologies dans le domaine des voitures autonomes, à l'instar de ce qui se fait déjà dans le domaine médical, permet d'obtenir des progrès qui sauvent déjà des vies humaines, comme l'explique Suhasini Gadam (Gadam, 2018).

Il existe deux catégories d'intelligence artificielle, la faible et la forte. La première, également appelée IA étroite, est un système conçu et entraîné pour n'effectuer qu'une seule tâche bien précise. Comme exemple d'IA faible, nous pouvons mentionner les assistants personnels tels que *Siri* chez Apple. La seconde, également appelée intelligence artificielle générale, est équipée de capacités cognitives généralisées. En d'autres termes, lorsqu'on lui soumet un problème inconnu, l'IA forte est capable de trouver une solution sans intervention humaine (Rousse, 2018).

Appliquée à l'industrie automobile, l'intelligence artificielle s'est imposée pour la conduite des véhicules autonomes de niveaux 4 et 5. L'énorme quantité de données dont nous disposons aujourd'hui nous amène à nous questionner sur le développement exponentiel de l'IA au XXI^e siècle. À l'aide d'appareils et de services connectés, nous sommes en mesure de collecter des données dans tous les secteurs industriels, ce qui alimente l'évolution de l'IA. Alors que des efforts sont entrepris pour améliorer rapidement les capteurs et les caméras et ainsi générer des données supplémentaires pour les véhicules autonomes, Nvidia a dévoilé son premier ordinateur d'IA en octobre 2017 (Mialaret, 2017). Celui-ci permet un apprentissage

approfondi, une vision par ordinateur et des algorithmes de calcul parallèle. L'intelligence artificielle est devenue une composante essentielle de la technologie d'entraînement automatisée. Il importe à présent de savoir comment elle fonctionne dans des véhicules autonomes et connectés afin de comprendre quels sont tous les enjeux futurs d'un tel système.

2. Aspects pratiques

2.1. Infrastructure

Le développement de la voiture autonome augmente la possibilité de créer un système capable de gérer intelligemment et à tout moment des scénarios de circulation très complexes. Selon José Baghdad, associé responsable du secteur automobile chez PwC, « pour aller plus loin, il faudra disposer de davantage de systèmes de communication entre les véhicules mais aussi entre les véhicules et leur écosystème. C'est peut-être d'ailleurs ce qui prendra le plus de temps, car il faudra adapter les infrastructures. » (Baghdad, 2019).

Ci-dessous, nous décrivons les différents outils indispensables à une perception fiable de l'environnement du véhicule autonome. Ces données se révèlent nécessaires pour enrichir, par la suite, les prises de décision d'un point de vue éthique.

Lidar

Le lidar est une technologie montée sur le toit de la voiture : un moteur rotatif utilisant des lasers génère une représentation très précise de la zone autour du véhicule. Il permet à la voiture de voir les dangers potentiels sur une carte 3D en faisant rebondir les faisceaux laser sur les surfaces entourant le véhicule ; il détermine ainsi avec précision la distance et le profil des objets. Contrairement à l'être humain, le lidar est capable de générer une vue à 360°.

Radar

Le radar a la capacité de surveiller avec précision et en temps réel la vitesse des véhicules environnants. Il est monté sur les pare-chocs avant et arrière, avec deux capteurs à l'avant et deux à l'arrière. Le radar permet à la voiture d'éviter les chocs en envoyant un signal au

processeur embarqué. Il fonctionne en conjonction avec d'autres caractéristiques de la voiture telles que les unités de mesure inertielle.

Caméra

Les véhicules autonomes ont également besoin de caméras montées à l'extérieur, à une légère distance des véhicules afin de donner une vue chevauchante de l'extérieur. Tout comme l'œil humain qui fournit au cerveau des images qui se chevauchent avant de déterminer la profondeur de champ, les mouvements périphériques et la dimensionnalité des objets, la caméra est à même d'analyser l'environnement de la voiture. Pour ce faire, elle dispose d'un champ de vision de 50 degrés et d'une précision d'environ 30 mètres.

Sonar

La technologie sonar a un champ de vision étroit et une portée effective relativement courte (environ 6 mètres) mais permet à la voiture de croiser efficacement les données des autres systèmes en temps réel.

GPS

Le système de positionnement fonctionne avec les caméras embarquées. Il traite les informations du monde réel ainsi que les données GPS et la vitesse de conduite pour déterminer, à quelques centimètres près, la position du véhicule. En même temps, il effectue des corrections intelligentes pour la circulation, la construction routière et les accidents.

Logiciel sophistiqué

Le logiciel traite toutes les données en temps réel et modélise la dynamique comportementale des autres conducteurs, des piétons et des objets qui entourent le véhicule. Alors que certaines données sont codées dans la voiture, comme l'arrêt aux feux rouges, d'autres données sont apprises à partir d'expériences antérieures de conduite. Chaque kilomètre parcouru sur chaque voiture est enregistré, et ces données sont traitées dans le but de trouver des solutions à chaque situation applicable. L'algorithme d'apprentissage ne traite pas

seulement les données de la voiture dans laquelle nous roulons, mais aussi d'autres véhicules afin de trouver une réponse appropriée à chaque problème possible.

2.2. Technique de la voiture

Tout conducteur utilise ses fonctions sensorielles, par exemple la vue pour regarder la route et les autres véhicules et l'ouïe pour entendre certains avertissements sonores. Lorsque nous nous arrêtons à un feu rouge ou que nous attendons qu'un piéton traverse la route, nous utilisons notre mémoire pour prendre des décisions rapidement. Les années d'expérience de conduite nous permettent de mieux repérer les éléments sur notre route, comme des bosses sur la chaussée, ou encore d'améliorer d'autres aspects comme le fait de trouver un meilleur chemin vers notre lieu de travail (Gadam, 2018).

Nous nous attendons à ce que les véhicules autonomes agissent de même. Nous devons donc leur apprendre à « développer » des capacités sensorielles, cognitives et exécutives similaires aux humains. Depuis de nombreuses années, le secteur automobile s'y emploie (Gadam, 2018).

Selon l'Institut des Ingénieurs en Électricité et Électronique (IEEE), nos routes seront prises d'assaut par 75 % de véhicules autonomes d'ici à 2040 (IEEE, 2020). D'ici là, ils disposeront de plus en plus d'informations. Ils seront par exemple capables de capturer et de partager en temps réel leurs données de localisation ou les changements dans leur environnement (Gadam, 2018). Une quantité massive de données sera collectée à l'aide de capteurs d'images ainsi que par des systèmes d'apprentissage automatique et de réseaux neuronaux, afin de construire des systèmes qui pourront fonctionner de manière autonome (Rousse, 2018). Lorsque ces données sont appliquées avec l'IA, le véhicule sera programmé pour voir, entendre, penser et prendre des décisions, tout comme le font les conducteurs humains (Gadam, 2018).

Les réseaux neuronaux seront responsables de l'identification des modèles dans les données qui seront transmises aux algorithmes d'apprentissage. Les données permettront au réseau neuronal d'apprendre à identifier les feux de circulation, les arbres, les bordures, les piétons,

les panneaux de signalisation et d'autres éléments de l'environnement indispensables à la conduite (Rousse, 2018).

Pour mieux comprendre le mode de fonctionnement de ce nouveau type de véhicules, Google, à travers son projet d'auto-conduite automobile Waymo nous apporte une expérience intéressante. Chaque voiture Waymo (Figure 2) s'appuie sur des cartes très précises de la zone dans laquelle elle est autorisée à se déplacer, avec une marge d'erreur d'environ 2,5 centimètres. Elle comprend des informations précises sur le tracé de la route, les panneaux d'arrêt, les feux de signalisation et tout ce qui est nécessaire à une voiture autonome (Laukkonen, 2019). Le passager de la voiture autonome, définit une destination et le logiciel de la voiture calcule un itinéraire. Comme les conditions du monde réel ne peuvent pas être prédites par les cartes les plus précises, le véhicule est équipé d'un capteur Lidar rotatif monté sur le toit et capable de surveiller tout ce qui se passe autour de la voiture sur une portée de 60 mètres. Ensuite, il crée en temps réel une carte 3D dynamique de l'environnement de la voiture. Sur la roue arrière gauche, se trouve un capteur qui surveille les mouvements latéraux de la voiture pour détecter sa position par rapport à la carte 3D. De plus, les radars sur les pare-chocs avant et arrière permettent de calculer les distances par rapport aux obstacles (Laukkonen, 2019).

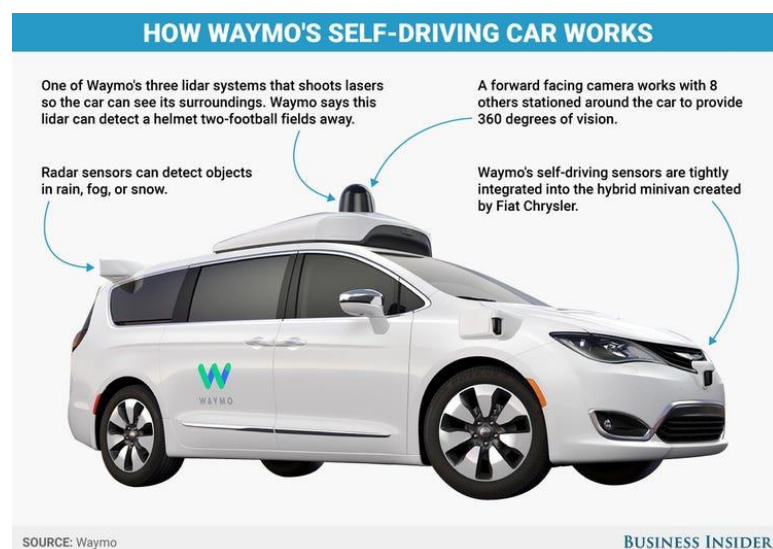


Figure 2 - Fonctionnement du véhicule Waymo (Waymo, 2020)

Le logiciel d'IA de la voiture est connecté à tous les capteurs et recueille les données de Google Street View et celles des caméras vidéo à l'intérieur de la voiture. Ensuite, l'IA est programmée de sorte à simuler les processus de perception et de prise de décision de l'être humain ; l'IA régule les actions des systèmes de contrôle du conducteur tels que la direction et les freins. Enfin, le logiciel de la voiture consulte Google Maps pour être averti d'éléments comme les points de repère, les panneaux de signalisation et les feux de circulation. Une fonction d'annulation est disponible pour permettre à un humain de prendre le contrôle du véhicule (Laukkonen, 2019).

Devenue incontournable par la force des choses, cette technologie de pointe ne doit cependant pas empêcher une réflexion sur ses avantages et inconvénients.

Chapitre 3 : Quels sont les avantages et inconvénients de ce type de véhicule ?

De nombreuses marques automobiles du monde entier ont déjà montré un grand intérêt pour les véhicules autonomes. Ceux-ci constituent une avancée tant pour l'industrie du transport que pour la sécurité routière.

La route blesse et tue des centaines de milliers de personnes chaque année, (National Highway Traffic Safety Administration, 2015). L'un des défis majeurs du secteur automobile et des pouvoirs publics est dès lors de rendre la conduite plus sûre pour tous. Le recours aux véhicules autonomes pourrait atténuer à la fois le nombre d'accidents de la route et les conséquences néfastes des collisions

Même si les véhicules autonomes résoudront certains de nos problèmes routiers, ils présenteront toutefois des inconvénients résultant de leur emploi.

À la suite de la lecture des avantages et inconvénients repris dans les points suivants, chacun pourra décider s'il lui paraît judicieux de monter dans un véhicule autonome.

1. Avantages

1.1. Diminution des accidents

Toutes les 23 secondes, une personne dans le monde décède dans un accident de voiture. Cela représente plus d'un million de victimes chaque année. On dénombre en outre entre 20 et 50 millions de blessés, dont beaucoup restent invalides (Fridman, 2019). De plus, la *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) révèle dans son rapport de 2015 que 94 % des accidents de la route sont le résultat d'erreurs humaines, principalement en raison de conducteurs roulant trop vite, en état d'ébriété, sous l'influence de substance psychoactives mais aussi de conducteurs distraits (NHTSA, 2015).

La voiture autonome n'étant pas directement contrôlée par un être humain, le nombre d'accidents causé par l'erreur humaine devrait diminuer significativement. On part ici du postulat que les erreurs de programmation du véhicule autonome seront certainement moins nombreuses que les erreurs de pilotage humain. L'IA permettra aux ordinateurs de contrôler le véhicule d'une manière plus sûre et ainsi de réduire le nombre d'accidents de manière à ce qu'il n'y en ait plus sauf quand ils sont inévitables. (Ayres, 2019).

1.2. Augmentation de l'accès à la mobilité

La voiture autonome est accessible à un plus grand nombre de personnes que les voitures traditionnelles. Certaines personnes ne sont en effet pas capables ou ne veulent pas rouler dans les voitures actuelles. Les voitures sans conducteurs offrent l'avantage de permettre aux personnes trop jeunes ou trop âgées pour conduire ainsi qu'aux personnes handicapées d'avoir davantage d'autonomie. Pour ces personnes, ceci devrait aussi favoriser un moindre recours et une moindre dépendance aux réseaux de transports en commun, souvent bondés et aux horaires souvent imprévisibles (Ayres, 2019). Les personnes atteintes d'un handicap plus lourd pourraient ainsi se déplacer plus facilement sans devoir compter sur d'autres personnes.

Par ailleurs, même si beaucoup de gens aiment conduire, le temps passé en voiture n'est pas toujours un moment agréable. Les véhicules autonomes apporteraient la possibilité aux

personnes qui n'aiment pas conduire ou qui ne savent pas conduire de pouvoir tout de même se déplacer de manière indépendante (Ayres, 2019).

1.3. Réduction des problèmes de congestion

Actuellement, la voiture est un moyen de transport fort privilégié. En France, par exemple, huit travailleurs sur dix choisissent ce moyen de transport. En Allemagne, la voiture est utilisée par 68 % des travailleurs (Le point.fr, 2018). Tout cela crée un trafic intense et des problèmes de congestion, essentiellement à l'intérieur et aux entrées des grandes agglomérations.

Le recours aux voitures autonomes pourrait grandement pallier ces problèmes. Chaque véhicule sera en effet en mesure de déterminer la vitesse la plus élevée en fonction du trafic, tout en assurant une sécurité optimale à ses occupants. La connexion des véhicules autonomes entre eux ainsi que celle des capteurs pour enregistrer la présence d'obstacles sur la route – piétons, etc. – contribueront aussi à fluidifier le trafic et à réduire les problèmes de congestion. Et, bien sûr, les ordinateurs élimineront les mauvaises habitudes de conduite humaine qui ralentissent fortement le trafic et contribueront ainsi à un meilleur usage de notre infrastructure actuelle (Regoli, 2019).

1.4. Aide pour l'environnement

De manière consécutive à ce qui précède, les voitures sans conducteur permettraient aussi d'économiser de grandes quantités de carburants. Non seulement, leur conduite sera plus appropriée en termes de vitesse – freinages, décélérations, accélérations, etc. – mais aussi en termes d'évitement de zones de danger ou à forte circulation. Bref, les déplacements pourront être maximisés de la manière la plus efficiente possible (Ayres, 2019).

Mais, en termes de carburant, il y a un avantage bien plus primordial : les véhicules autonomes utilisent l'électricité comme principale source d'énergie. Ceci aussi permettra d'économiser du carburant, de préserver la sécurité de notre environnement et de soutenir la vie humaine et animale (Elezaj, 2019).

Les véhicules tels que nous les connaissons aujourd'hui sont la première source de pollution atmosphérique dans les grandes villes. Elle est responsable de 13 % des émissions de CO₂ dans le monde et de près de 20 % en Europe. Les véhicules sont ainsi à l'origine de bon nombre de maladies, comme l'asthme ou les bronchites chroniques, et responsable de la mort prématurée de pas moins de sept millions de personnes dans le monde chaque année, dont 600.000 en Europe (Christophe, 2019).

1.5. Moins de stress et augmentation de la productivité

La conduite d'un véhicule n'est pas une tâche facile. Elle requiert toute l'attention permanente du conducteur, ce qui est souvent source de stress. Tout cela ne sera plus qu'un mauvais souvenir avec les véhicules autonomes. Non seulement les passagers n'auront plus à se préoccuper de la route mais, en plus, les durées de trajets se verront souvent réduites pour les raisons expliquées plus haut. Les passagers pourront dès lors regarder un film, écouter de la musique ou tout simplement discuter entre eux, le temps que le véhicule les amène à destination (Regoli, 2019).

Les passagers pourraient aussi faire le choix de mettre ce temps à profit pour travailler. Ceci serait alors synonyme d'une meilleure productivité, accrue aussi par une réduction du stress et de la fatigue engendrés par le trafic, les longues distances et les heures passées de nos jours au volant. On notera aussi que les temps de pause obligatoires pour certaines personnes comme les conducteurs de camions pourraient être supprimés et que les personnes en état d'ébriété pourraient rentrer chez elles en toute sécurité. En conclusion, la qualité de vie des utilisateurs des véhicules autonomes pourrait donc être fortement améliorée (Ayres, 2019).

Comme on peut le constater, les avantages du recours aux véhicules autonomes sont fondés et nombreux. Cela ne doit pas nous faire oublier leurs désavantages, inconvénients et toutes les questions qui se posent en termes d'éthique. Les véhicules autonomes devront être programmés de telle ou telle manière avant de pouvoir circuler sur nos routes. Ceci implique des choix, éthiques notamment, qu'il ne sera pas toujours facile d'opérer, mais aussi de nombreux obstacles à franchir en termes d'autorisation légale de rouler, de législation routière, etc.

2. Inconvénients

2.1. Acceptation et éducation

Selon une étude du MIT (Abraham, 2017), sur 3.000 utilisateurs potentiels des véhicules autonomes, près de la moitié (48 %) ont indiqué être réticents à acheter un véhicule qui se conduit seul et 58 % sont prêts à y recourir mais pas de manière permanente. L'étude a démontré que la raison principale est un sentiment de crainte face à la perte de contrôle et la perception que les véhicules autonomes ne sont pas sûrs. Les gens perdent plus rapidement confiance si une machine dotée d'une IA commet ne serait-ce qu'une petite erreur, alors qu'ils acceptent facilement de pardonner une erreur humaine (Dietvorst & al, 2015). Les mauvaises expériences technologiques actuelles, telles que des perturbations du Wi-Fi ou un site web qui ne fonctionne pas, influencent leur manière de penser. Ainsi, la moitié des personnes interrogées n'est pas désireuse de mettre sa vie entre les mains d'une quelconque technologie, que ce soit lors de situations bénignes ou, plus encore, en cas de scénarios de vie ou de mort.

Pourtant, l'acceptabilité des véhicules autonomes est un enjeu majeur si l'on veut tout simplement qu'ils se vendent. Il sera donc nécessaire de rassurer les gens en leur expliquant le fonctionnement de cette nouvelle technologie et en les informant de manière continue. De plus, il nous semble judicieux de prendre en compte leurs avis sur les questions éthiques qui se posent lors de scénarios de dilemme ; s'ils se sentent intégrés dans le processus décisionnel, leur confiance envers ce type de véhicule augmentera.

2.2. Atteinte à la vie privée

Pour qu'un véhicule autonome fonctionne efficacement, il est nécessaire de collecter une quantité de données importante. Pendant que le véhicule roule, de nombreuses données sur l'environnement sont collectées pour permettre aux algorithmes d'apprendre et de devenir plus « intelligents ». Ce type de véhicule communiquera des données, notamment sur la position, la destination de ses occupants, qui revêtent un caractère privé et sensible. En termes de confidentialité, l'utilisation inappropriée de ces données pourrait être préjudiciable à ces personnes. Il y aura donc notamment lieu de veiller à toutes les questions relatives à la

protection des données, au respect du Règlement général sur la protection des données (RGPD) et à tous les enjeux en matière de cybersécurité.

2.3. Piratage

Les véhicules autonomes sont connectés à Internet. Comme tout système informatisé, ils n'échapperont pas au risque du piratage. Ils disposent d'une interface cellulaire et de connexions sans fil qui sont des cibles potentielles pour des attaques à distance. Les systèmes internes pourraient être piratés, ce qui permettrait, par exemple, de détourner un véhicule.

Ce type de risque est élevé et non négligeable. Une faille de sécurité pourrait être coûteuse car la vie des passagers serait sérieusement mise en danger. De plus, un hacker pourrait avoir accès à de nombreuses données personnelles telles que la localisation ou le numéro de téléphone. Les véhicules autonomes devront disposer d'un niveau de sécurité élevé pour s'assurer qu'ils ne soient pas utilisés de manière inappropriée.

2.4. Infrastructure et conditions météorologiques

Cette nouvelle technologie requiert une précision irréprochable de nos systèmes de cartographie. Les essais des véhicules autonomes qui ont déjà eu lieu reposent notamment sur la mise à jour des systèmes GPS et de cartographie afin que ces véhicules atteignent leurs destinations but sans le moindre souci. Les systèmes actuels devront encore sans nul doute être améliorés, de manière à ce que le véhicule ne suive pas des instructions erronées. Les GPS nous invitent par exemple parfois encore à tourner dans une rue interdite à la circulation dans ce sens ou à nous engager dans un endroit où il n'y a pas de chaussée. En 2012, des étudiants de Tokyo ont fait un virage illégal à gauche en suivant les conseils du GPS, ce qui a conduit à un accident entre quatre voitures. Plus récemment, en 2019, une voiture est tombée dans un canal à Marseille en suivant également les instructions du GPS (Max, 2019). Ces problèmes pourraient devenir plus fréquents si nous nous appuyons sur les fonctions automatisées d'une voiture autonome.

2.5. Coût

Le coût des véhicules autonomes est un facteur évidemment non négligeable voire primordial aux yeux du grand public. Le prix des systèmes sous-jacents aux véhicules hautement automatisés, à savoir les capteurs, les radars et autres dispositifs de communication, sont très coûteux et pourraient entraîner des coûts d'achat vertigineux pour ce type de véhicule.

D'un point de vue sociologique, un coût élevé des véhicules autonomes pourrait aussi induire de très graves disparités entre les classes sociales. D'un côté, on aurait celles qui pourraient se les offrir et, de l'autre, celles qui ne le pourraient pas. En conséquence, on verrait apparaître une partie de la population à bord de véhicules autonomes fortement sécurisés et une autre partie à bord de véhicules anciens, non automatisés et moins sécurisés. En caricaturant, on pourrait dire que les personnes les plus pauvres seraient ainsi susceptibles d'être plus gravement blessées que les autres (Nunes & Hernandez, 2019).

2.6. Responsabilité

Il n'existe aucun précédent juridique quant à la responsabilité en cas d'accident avec des véhicules sans conducteurs. Bien que ce système de conduite réduirait fortement le risque d'accident, il n'éliminera pas totalement cette menace sur nos réseaux de transport. En 2018, Uber a connu le premier accident mortel connu à Tempe, en Arizona : le véhicule autonome a heurté un piéton (Fontaine, 2018). Le conducteur regardait ses genoux quand l'accident s'est produit et le véhicule s'est arrêté au moment de l'impact. Une évaluation du système a montré que la voiture sans conducteur a détecté le piéton à peine 0,9 seconde avant l'impact. Cela ne lui donnait que 15 mètres pour s'arrêter, ce que le véhicule n'a pas fait. La voiture n'a pas ralenti, n'a pas fait d'embarquée et a percuté le piéton à 60 km/h. Cet accident mortel a mis en évidence notamment la nécessité de modifier les règles législatives afin de déterminer entre autres le degré de responsabilité de l'utilisateur du véhicule autonome en pareilles circonstances.

L'adoption de ce type de véhicules nécessitera en fait le changement de nombreuses lois. Les utilisateurs de véhicules autonomes de niveau 5 n'auront plus la possibilité de prendre le contrôle du véhicule. Il sera donc nécessaire de changer, par exemple, la Convention de

Vienne sur la circulation routière de 1968, qui stipule qu'un conducteur humain doit être présent et qu'il ait le contrôle du véhicule en tout temps (Duquesne, 2016).

Même si les partisans du progrès scientifique soutiendront que la plupart des inconvénients cités ci-dessus sont mineurs en regard des avantages des véhicules autonomes, notamment sur le plan de la sécurité, il n'en reste pas moins qu'on ne peut certainement pas faire l'impasse sur les questions éthiques en cas d'accident inévitable. Si ces dilemmes ne sont pas résolus, il y a fort à parier que les véhicules autonomes ne pourront jamais circuler sur nos routes. Comme nous l'avons souligné, la question de la confiance est primordiale.

La seconde partie du mémoire aborde dès lors deux questions complexes mais fondamentales : « Quelles réglementations éthiques privilégier dans la programmation des véhicules autonomes ? » ; « Qui en supportera le pouvoir décisionnel ? ».

PARTIE II : ASPECTS ETHIQUES

Les questions éthiques se sont posées de tout temps. Il est donc normal que les philosophes, éthiciens et autres intervenants se concentrent sur les problèmes éthiques en lien avec les algorithmes des véhicules autonomes. Leurs réflexions et suggestions pourraient nous aider à dicter le comportement de ces véhicules, notamment en cas d'accidents inévitables.

Plusieurs scénarios fictifs ou impliquant des situations réelles ont été proposés dans la littérature philosophique. L'un des plus célèbres est *The trolley problem* ou *le dilemme du tramway*. Bien que cette expérience de pensée ne s'intéresse qu'à la question du nombre, critère intéressant dans le cadre des véhicules autonomes, ainsi qu'à la question d'action/abstention, son analyse est utile. Elle nous permettra de comprendre comment, en cas d'accident inévitable, l'ordinateur devra être programmé pour analyser quelle collision est considérée comme la moins dommageable ou la plus juste.

De plus, de nombreuses études ont été réalisées, dont l'étude *Moral Machine*, la plus grande étude quantitative au monde, dans le but de connaître l'avis de la population sur ces problèmes éthiques. Bien que deux courants éthiques, l'utilitarisme et le déontologisme, ressortent principalement pour répondre aux questions morales, les profanes et les philosophes n'arrivent toujours pas à se mettre en accord sur ce qui peut être moralement interdit ou non dans le cadre des véhicules sans conducteurs. Pour l'instant, nous sommes capables de proposer des principes précis mais ceux-ci ne font pas l'objet d'une unanimité. L'éthique n'est pas une science exacte, une décision peut être considérée comme morale par une personne et non par une autre.

Cette deuxième partie vise premièrement à analyser l'expérience du *dilemme du tramway*. Il représente un dilemme « à choix forcé » auxquels les véhicules autonomes feront face. Nous analysons ensuite les différences culturelles liées aux choix moraux. Puis, nous étudions, à travers des scénarios, plusieurs problèmes éthiques que les véhicules autonomes pourraient rencontrer. Nous prendrons en compte des critères tels que le nombre, l'âge et le respect du code de la route. Ensuite, nous proposons une solution qui nous semble propice pour répondre définitivement aux questions éthiques des véhicules autonomes. Nous terminons

par challenger cette idée en analysant s'il serait judicieux de permettre aux utilisateurs de choisir le cadre éthique de leur véhicule autonome et s'il est possible d'instaurer des règles différentes en fonction du pays.

Chapitre 1 : Que nous apporte le dilemme du tramway ?

Sur base de quelles règles devrions-nous programmer les algorithmes qui guideront les véhicules autonomes ? Sur quelles théories éthiques devrions-nous nous appuyer ? Qui sera en mesure d'établir ces règles et à quel moment ?

Pour répondre à ces questions, il est utile de commencer par l'analyse et la compréhension du *dilemme du tramway*. Ce dilemme explore une situation à laquelle un véhicule autonome pourrait être confronté. Comprendre ce dilemme est une première étape pour nous permettre de visualiser les choix moraux auxquels les programmeurs et décideurs seront confrontés lors de l'établissement des règles éthiques.

Le *dilemme du tramway* est une expérience de réflexion en matière d'éthique et de philosophie morale. Elle présente une situation qui demande aux participants de faire un choix moral entre deux scénarios possibles. Quel que soit le choix du participant, il ne sera jamais totalement satisfaisant car il y aura toujours des conséquences néfastes. Dans le cas présent, l'un ou l'autre choix aboutira au décès d'une personne au minimum. Toutefois, l'expérience mettra en évidence les motivations du choix du participant ; elles dépendront des priorités, des principes et des codes moraux qui guident son parcours social et sociétal. Aussi rares que devraient être les accidents dans des véhicules autonomes, l'utilisation et la réflexion d'expériences de pensée comme celle-ci isolent et testent quelques hypothèses sous tension sur la façon dont les algorithmes devront être programmés pour faire face à un accident inévitable.

Ce dilemme a été introduit par la philosophe Philippa Foot, surtout connue pour ses travaux en matière d'éthique. Elle a formulé le *dilemme du tramway* dans un article de 1967, intitulé « *The problem of abortion and the Doctrine of the Double Effect* ». Ses recherches ont été influencées par les travaux de Wittgenstein, un philosophe qui a apporté des contributions

décisives en logique et en philosophie du langage. Ses travaux l'ont amenée à remettre en question l'opinion dominante en philosophie morale selon laquelle les jugements moraux ne correspondent pas au monde réel. Philippa Foot estime que les jugements moraux sont tout simplement des expressions d'émotion et/ou des déclarations prescriptives, même si elle citait rarement les matériaux utilisés par Wittgenstein (Lendrein, 2018).

Dans la variante classique de cette expérience (Figure 3), un tramway sans conducteur se dirige vers cinq personnes bloquées sur des rails de tram. Elles seront d'office tuées si le tramway n'est pas redirigé vers une voie latérale. Un témoin de la scène se trouve à côté d'un aiguillage qui permet, s'il est actionné, de rediriger le tramway vers une seconde voie et ainsi sauver les cinq personnes. Le dilemme se situe dans le fait que sur cette voie secondaire se trouve une autre personne qui sera tuée si l'aiguillage est actionné par le témoin. La décision est intrinsèquement liée à la valeur donnée au nombre de personnes à sauver, à la responsabilité attribuée à l'implication dans la situation et peut être liée à tout autre aspect l'influençant (âge, sexe, situation, etc.). Le témoin devrait-il actionner le levier et mettre fin à une vie pour en sauver cinq ou ne rien faire et laisser le tramway poursuivre son chemin (Lendrein, 2018) ? L'action intuitive la plus courante à ce dilemme est l'intervention permettant de sauver les cinq personnes (Hauser et al., 2007).

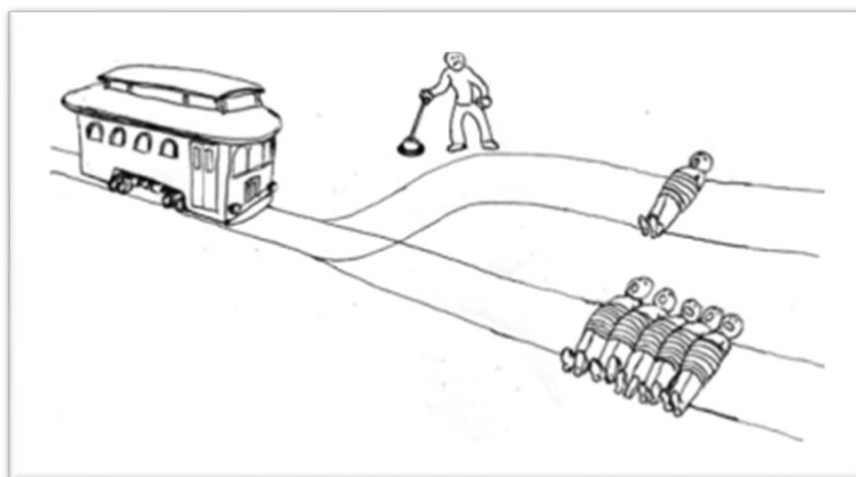


Figure 3 - Version classique du dilemme du tramway (Le Minarchiste, 2013)

Dans la version classique du dilemme, il y a deux aspects comportementaux à prendre en compte : la réaction émotionnelle et impulsive du témoin et sa réaction moralement

rationalisée. Du point de vue utilitariste, où le principe est de maximiser le bien pour le plus grand nombre de personnes, la réaction est évidente : il faut tirer le levier et sauver cinq vies plutôt qu'une. Plusieurs études ont confirmé que le taux de personnes qui pensent qu'il est acceptable de tirer sur le levier pour dévier le tramway varie entre 77 % et 94 % selon les études (Hauser et al., 2007).

Dans son article, Philippa Foot explore une autre théorie afin d'expliquer les réactions à son dilemme. Les partisans qui considèrent le fait de tirer le levier comme la solution juste à ce dilemme font appel à la « doctrine du double effet ». Selon cette doctrine, il est parfois admissible de causer un préjudice grave et intentionnel, tel que la mort d'un être humain, si le préjudice en question est une conséquence secondaire non voulue (Foot, 1967). En d'autres termes, en considérant la doctrine du double effet, il est parfois admissible d'agir par une intention oblique, ayant un effet secondaire que l'on peut ne pas vouloir directement, dans le but d'obtenir un résultat optimal.

En outre, une action peut être considérée comme moralement bonne malgré des éléments négatifs si elle remplit quatre conditions (Michon, 2016, p.149). Premièrement, l'action même considérée sans ses conséquences négatives, ne doit pas être néfaste en elle-même. Autrement dit, l'action doit être moralement bonne ou neutre. Dans le *dilemme du tramway*, le témoin actionne le levier dans le but de sauver les cinq personnes mais sans vouloir pour autant tuer la personne seule sur les rails. Il agit instinctivement dans le but de maximiser le bien et sauver le plus grand nombre de personnes.

Deuxièmement, l'intention de l'action doit être positive et, en aucun cas, souhaiter faire le mal comme moyen ou comme fin en soi. Si nous revenons à notre dilemme, le témoin ne doit pas actionner le levier dans le but de se venger d'un tort que la personne seule lui aurait causé précédemment ou laisser le tram sur sa voie si l'une des cinq personnes lui a causé un tort. Sa motivation à actionner ou non le levier ne doit pas être influencée par des intentions personnelles.

Troisièmement, le préjudice doit être moins fort que le bon effet ou bien les deux doivent être égaux. Par exemple, couper la jambe de quelqu'un engendre un mal, mais ce mal peut être

provoqué pour un plus grand bien. Au contraire, bombarder une ville entière et tuer tous les civils pour atteindre un terroriste recherché est une action disproportionnée entre le mal fait et le bien recherché. Dans le dilemme étudié, en actionnant le levier, l'action du témoin provoque un mal en sacrifiant une personne, mais dans le but de faire un plus grand bien en sauvant cinq personnes.

Finalement, il ne doit pas exister un quelconque autre moyen d'obtenir le bien sans causer les effets négatifs. Dans notre cas, aucun autre choix que de tirer ou ne pas tirer le levier n'est proposé au témoin pour sauver l'une ou l'autre personne.

De ce point de vue, la doctrine du double effet semble soutenir l'appréciation de l'action la plus juste des participants qui ont jugé acceptable de dévier le tramway et sauver les cinq personnes en sacrifiant la personne seule sur les rails. Cette discussion sur le dilemme du tramway nous apporte déjà un premier questionnement en matière de choix lorsque le critère du nombre est pris en compte. De plus, ce dilemme met en évidence la nécessité de la mise en place d'une équipe qui pourra débattre de manière plus approfondie des actions qui sont permises et de celles qui ne le sont pas. La décision et la programmation des règles éthiques ne peuvent pas être confiées aux seuls ingénieurs, par exemple ; ils n'ont pas toutes les connaissances suffisantes. Les ingénieurs qui travailleront sur ce type de véhicules devront être bien entourés et seront les exécutants des directives mises en place par une équipe pluridisciplinaire. La doctrine du double effet nous semble également pouvoir servir de base solide dans la programmation des véhicules autonomes. Nous discuterons de cette équipe pluridisciplinaire plus loin dans le mémoire.

Par ailleurs, bien qu'elle soit également explorée dans la version classique du dilemme, l'approche déontologiste est plus explicite dans l'une des variantes (Figure 4), où sauver les cinq personnes nécessite une action différente. L'observateur se trouve sur une passerelle au-dessus des rails avec une autre personne. Celle-ci a une masse corporelle suffisamment importante pour arrêter le tramway si elle est poussée sur les rails mais cela causerait sa mort. Dans ce cas-ci, seuls 12 % des participants ont répondu être prêts à pousser la personne pour arrêter le tramway et sauver les personnes sur les rails (Hauseur et al., 2007). Ainsi, l'observateur devient un acteur responsable de la mort d'une personne, extérieure au

dilemme, pour en sauver cinq autres. Donc, dans ce cas sauver les cinq personnes en sacrifiant une autre semble incorrect pour la plupart alors que dans le premier cas, sacrifier une personne pour en sauver cinq, semble permis. Si nous reprenons la théorie de la doctrine du double effet, nous pouvons constater que les quatre conditions ne sont pas remplies. Dans cette variante-ci du dilemme, le fait de pousser la personne est une action qui n'est pas moralement bonne ou neutre. Elle implique le sacrifice volontaire d'une personne extérieure au dilemme.



Figure 4 - Variante du dilemme du tramway (Le Minarchiste, 2013)

Ces deux dilemmes sont complexes car dans un cas, selon l'approche utilitariste, il semble moralement admissible de sauver les cinq personnes en sacrifiant une autre, alors que dans l'autre cas, selon l'approche déontologiste, cela semble mal. De même, dans la version classique du dilemme, le témoin n'actionnerait pas le levier en suivant l'éthique déontologique pour ne pas enfreindre certains impératifs absolus. (Niholm & Smids, 2016).

Dans le premier scénario, les répondants agissent le plus souvent avec une pensée utilitariste, selon laquelle tout jugement moral d'une action doit être formé par rapport à ses conséquences (Clark, 2018). Dans la variante, la pensée déontologique est mise en avant ; selon celle-ci une action est permise ou interdite selon sa conformité, ou non, à certains devoirs et ne dépend en rien des circonstances (Clark, 2018). L'observateur est prêt à sacrifier une personne extérieure à la situation en la poussant, avec l'intention délibérée de donner la mort et ceci crée une dynamique très différente au niveau décisionnel. En poussant la

personne de la passerelle, l'observateur est directement responsable de sa mort. Le résultat est le même dans les deux scénarios mais les moyens mis en place pour arriver à ce résultat sont différents.

Le scénario présenté dans la variante du dilemme pourrait se produire dans le cadre des véhicules autonomes. L'intelligence artificielle du véhicule est capable d'analyser l'environnement qui l'entoure et pourrait être en mesure de détecter que l'action de sacrifier une personne lambda traversant la rue, par exemple, pourrait sauver la vie à trois autres personnes se trouvant plus loin. Il faudra tenir compte de cette possibilité lors de l'établissement des règles éthiques et juger s'il est moralement et éthiquement admissible ou non de sacrifier une personne extérieure au dilemme pour en sauver d'autres.

Lorsque les voitures autonomes circuleront sur la route, elles joueront le rôle de l'observateur dans le *dilemme du tramway*. Ce sont les algorithmes des véhicules autonomes qui seront programmés pour agir, lorsque le véhicule sera confronté à un accident inévitable, et décider si le véhicule doit rester sur sa trajectoire ou dévier pour sauver la personne choisie selon la programmation prédéfinie. Ainsi, bien que le *dilemme du tramway* n'aborde que le critère du nombre, il représente l'application de la conception d'algorithmes des véhicules autonomes en matière de choix.

Ce dilemme nous montre qu'il est nécessaire d'approfondir la question éthique des règles pour les véhicules autonomes en considérant d'autres critères. Ces critères pourraient notamment être ceux de l'âge, du respect du code de la route et bien d'autres encore. Ils seront étudiés dans la suite du mémoire. Ce type de véhicule sera confronté à des situations pour lesquelles il y aura des scénarios semblables au dilemme du tramway mais aussi bon nombre de scénarios différents qui, eux, créeront un panel de résultats très diversifiés. Si nous considérons d'autres critères que le nombre la réaction du véhicule pourrait être significativement impactée.

Chapitre 2 : Une programmation à la carte est-elle éthiquement acceptable ?

L'expérience de pensée du dilemme du tramway nous a permis de mettre en avant certaines difficultés morales qu'un choix pouvait amener lors d'un dilemme. Contrairement à cette expérience qui n'explore que la vision du nombre, un élément toutefois pertinent pour les véhicules autonomes, ceux-ci seront confrontés à des dilemmes mettant en scène d'autres critères. Ce nouveau type de transport devra être en mesure d'agir de manière responsable, rationnellement prévisible, et de reproduire, voire faire mieux que les processus de prise de décision des êtres humains. Cependant, certaines situations nécessitent bien plus qu'une simple décision mécanique nécessaire afin de suivre le code de la route ou de trouver un chemin sûr. Ces situations impliquent des valeurs morales et un sens de l'éthique difficilement reproductibles sous la forme d'un algorithme.

À la suite du dilemme du tramway, nous avons vu que deux théories éthiques se distinguent pour la programmation des véhicules autonomes : l'utilitarisme et le déontologisme. Ces deux courants éthiques sont attrayants pour les ingénieurs en informatique puisqu'ils sont applicables à un grand nombre de situations. Pour rappel, le déontologisme soutient que certains actes sont obligatoires, peu importe les conséquences. Avec cette approche, une action sera jugée acceptable si elle est bonne ou neutre (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2020). Autrement dit, en analysant l'environnement qui l'entoure, l'algorithme d'un véhicule autonome pourrait décider de créer un accident pour sauver un piéton en danger qui se tient plus loin sur sa trajectoire. L'utilitarisme, qui constitue une forme de conséquentialisme, est la théorie éthique qui détermine le bien et le mal en se concentrant uniquement sur les résultats d'une action ; il analyse ce résultat sous un angle particulier, choisit la solution préférée et maximise la satisfaction totale des préférences. L'utilitarisme stipule que « le choix le plus juste est celui qui maximise le bien pour le plus grand nombre de personnes » (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2020).

Dans ce chapitre, nous présentons une enquête sur les préférences morales : Moral Machine. Celle-ci établit des conclusions intéressantes en matière de choix moraux, en prenant en considération l'opinion publique. Elle nous montre également que le monde est divisé en trois parties présentant chacune des visions différentes. Nous expliquerons aussi ce que les gens

pensent. Ensuite, nous discuterons de la faisabilité de différents choix de programmation qu'il est éthiquement possible d'intégrer dans les véhicules autonomes.

1. Moral Machine

Avant de pouvoir introduire des règles éthiques dans l'intelligence artificielle, il s'agit de les définir. Ce n'est pas une mince affaire, comme le montre le projet Moral Machine, un jeu éthique qui réinvente, à l'ère du véhicule autonome, le dilemme du tramway. Avec le développement rapide de l'intelligence artificielle, de nombreuses inquiétudes sont apparues sur la manière dont les décisions morales seront prises par les machines ainsi que sur les attentes sociétales concernant les fondements éthiques qui devraient encadrer le comportement des machines. La question de l'acceptabilité des intelligences artificielles est donc un défi majeur pour tous les acteurs qui désirent développer ces technologies à très haute valeur ajoutée. Mais cela est impossible sans l'acceptation du public. Les décisions portant sur les principes éthiques qui encadreront les véhicules autonomes ne pourront pas être exclusivement laissées aux ingénieurs et décideurs politiques. Pour que les utilisateurs passent d'un véhicule traditionnel à un véhicule autonome, le public devra comprendre les principes éthiques qui sont programmés dans ces véhicules (Sharrieff & al, 2017, pp 694-697). Même si les décideurs politiques, ingénieurs et éthiciens parvenaient à établir des codes moraux, leur travail serait inefficace en cas de désaccord de la majorité des citoyens avec leurs propositions. La conception de règles éthiques de l'intelligence artificielle doit au minimum tenir compte de la moralité publique. De plus, pour rassurer les gens, il faut en parler, communiquer. L'enquête Moral Machine permet également au public de se familiariser de façon simplifiée au dilemme des véhicules autonomes et de se représenter leurs enjeux (Bonnefon, 2016).

Moral Machine est une plateforme expérimentale en ligne conçue par Les chercheurs du *MIT Media Lab*. Sous la forme d'une enquête, elle permet de recueillir des données à grande échelle sur la façon dont les êtres humains font des choix. Ceci aboutit à une meilleure compréhension sur la manière dont ils conçoivent l'intelligence artificielle liée à une machine programmée pour opérer des choix. L'idée de ces chercheurs était de créer une étude qui ressemble à un jeu et qui donne aux gens la possibilité de prendre des décisions. Celles-ci

portent sur la manière dont une voiture autonome impliquée dans un accident devrait donner comme priorité à la vie face à des dilemmes moraux. Les informations liées aux décisions sont collectées pour permettre l'analyse du comportement des répondants à travers le monde et ainsi pouvoir les utiliser pour des recherches plus avancées dans la conception des algorithmes. Les scénarios présentés sont inspirés du dilemme du tramway. L'analyse des données dévoile une grande disparité dans les priorités morales collectives des différentes cultures.

Depuis la mise en ligne de la plateforme en 2014, plus de 40 millions de décisions en dix langues provenant de millions de personnes dans 233 pays et territoires (Figure 5) ont été rassemblées et enregistrées. Ceci constitue l'une des plus grandes études mondiales jamais réalisées sur les préférences morales (Awad, E. et al, 2018).

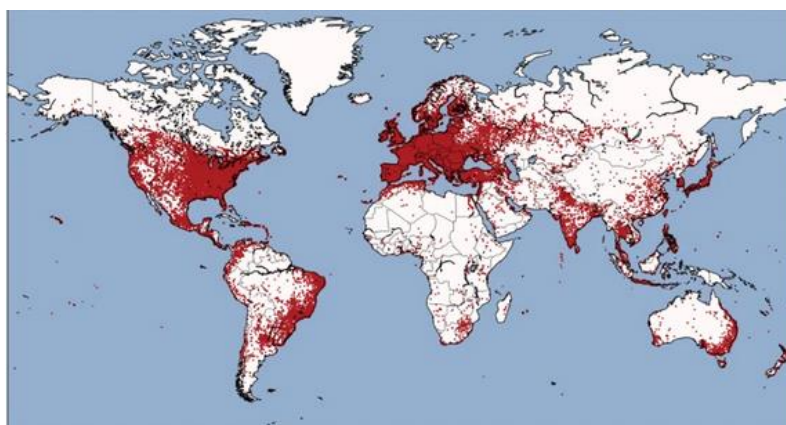


Figure 5 – Couverture géographique (Moral Machine, 2020)

L'interface principale de la Moral Machine propose aux utilisateurs plusieurs scénarios d'accidents inévitables (Figure 6) avec, à chaque fois, deux issues possibles, selon que le véhicule autonome fait une embardée ou reste sur sa trajectoire. Ces scénarios sont développés selon une méthode de recherche qui se focalise sur neuf facteurs (Dumestre, 2020) : épargner les humains (par rapport aux animaux), garder le cap (par rapport aux déportements), épargner les passagers (par rapport aux piétons), épargner plus de vies (par rapport à moins de vies), épargner les hommes (par rapport aux femmes), épargner les jeunes (par rapport aux personnes âgées), épargner les piétons qui traversent légalement (par rapport aux piétons qui ne respectent pas la loi), épargner les personnes en forme (par rapport

aux personnes en mauvaise santé) et épargner les personnes de statut social supérieur (par rapport aux personnes de statut social inférieur).

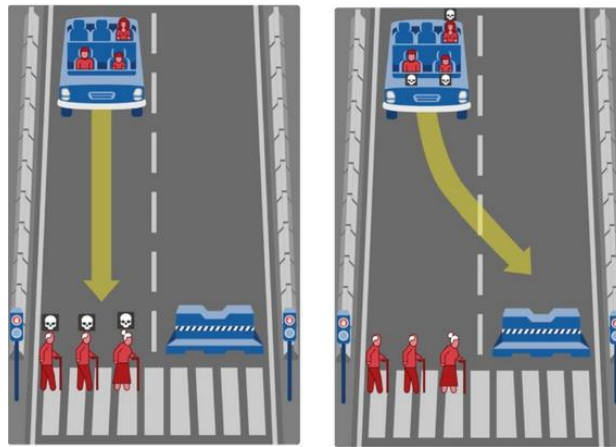


Figure 6 – Exemple de scénario Moral Machine (Moral Machine, 2020)

Chaque séance comporte 13 scénarios. À la fin de chaque séance diverses informations étaient recueillies afin d'être utilisées dans une analyse de regroupement qui cherchait à identifier des groupes de pays ou territoires ayant des profils de préférences morales homogènes.

2. Résultat de l'étude

Pour tester l'importance relative des neuf préférences explorées simultanément par la Moral Machine, une approche conjointe a été appliquée. De cette analyse, trois grands principes, sur lesquels les répondants s'accordent plus ou moins, se sont dégagés : protéger la vie humaine plutôt que celle des animaux, sauver le plus grand nombre de vie et sauver en priorité les enfants (Dumestre, 2020). Même si ces trois grands principes regroupent des points communs, des divergences de préférences apparaissent encore d'un pays à un autre. Toutefois, ces trois principes peuvent être considérées comme des sujets essentiels à prendre en compte par les décisionnaires (Maxmen, 2018).

Les réponses collectées ont permis de constater que les décisions varient sensiblement d'un pays à l'autre principalement en raison de différences culturelles, religieuses et économiques. L'expérience Moral Machine a ainsi permis de séparer les régions du monde en trois grands

groupes (Figure 7) (Awad et al, 2018). Le premier – le groupe occidental – comprend l'Amérique du Nord ainsi qu'une majorité de pays occidentaux protestants, catholiques et orthodoxes. Le deuxième – le groupe oriental – comprend des pays d'Extrême-Orient pratiquant le confucianisme, comme le Japon, la Chine et Taïwan, des pays islamiques comme l'Indonésie, le Pakistan et l'Arabie saoudite. Le dernier – le groupe du sud – comprend des pays d'Amérique latine et du Sud ainsi que certaines anciennes colonies françaises.

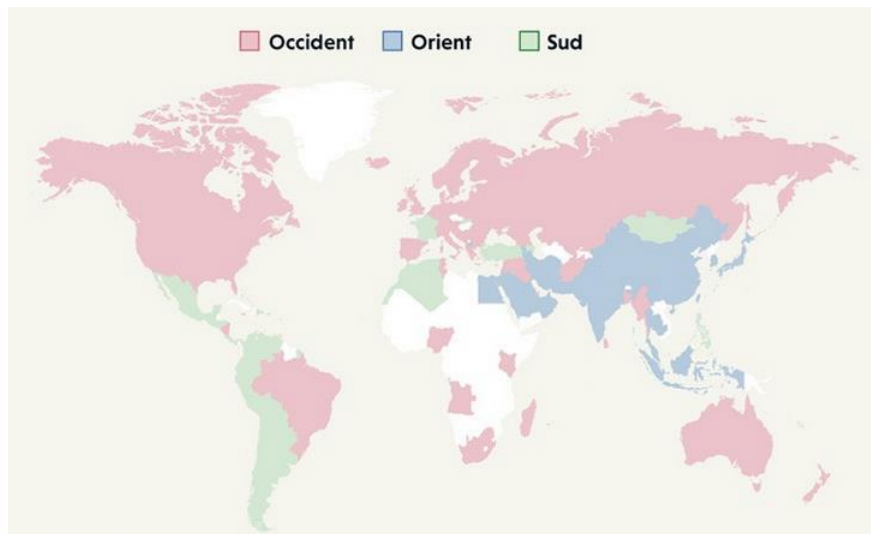


Figure 7 – Les trois groupes culturels (Maxmen, 2018)

Les différences d'approches en matière éthique entre ces trois groupes posent des problèmes importants en termes de préférences (Annexe 1). La préférence pour épargner les individus jeunes plutôt que les individus âgés est beaucoup moins marquée dans les pays du groupe de l'est et beaucoup plus élevée dans ceux du groupe du sud. Il en va de même lorsqu'il s'agit d'épargner des personnes ayant un statut supérieur, une conception qui prévaut bien plus dans le groupe du sud. Par rapport aux deux autres groupes, les pays du groupe du sud montrent en outre une préférence beaucoup moins marquée pour l'épargne des humains que pour les animaux de compagnie. Seules la préférence (faible) pour l'épargne des piétons par rapport aux passagers et la préférence (modérée) donnée à l'épargne du légal par rapport à l'illégal semblent être réparties de la même manière dans tous les groupes (Awad et al, 2018). Enfin, quelques particularités marquantes peuvent être observées dans le groupe du sud, telles que la forte préférence pour l'épargne des femmes et la forte préférence pour l'épargne des personnes en bonne santé.

Toutes les similitudes et différences éthiques et morales mises ici en évidence montrent à suffisance que les fabricants de véhicules autonomes et décideurs politiques doivent en être, conscients au moment de concevoir des programmes et systèmes d'intelligence artificielle. Si les préférences éthiques du grand public ne doivent pas constituer le déterminant unique de la politique éthique des véhicules autonomes, il faut néanmoins être conscient que la décision d'acheter des véhicules autonomes et de les accepter sur nos routes dépendra principalement du grand public, en particulier eu égard son degré d'acceptabilité des règles éthiques qui auront été adoptées (Awad et al, 2018).

À partir de ces constats, une question essentielle peut être posée : dans l'hypothèse où une majorité du grand public à divers endroits du monde présenterait des approches que nous pourrions qualifier de non-acceptables sur le plan moral, les véhicules autonomes pourraient-ils être programmés de la sorte ? Il est évident que, bien au-delà de ce que fait ressortir l'enquête *Moral Machine*, les populations des différents pays ont des approches à géométrie variable en termes de discriminations de certains groupes. Par exemple, certains États ne placent pas la femme sur un pied d'égalité par rapport à l'homme, tandis que d'autres, dans bien des matières, donnent la priorité à leurs ressortissants nationaux par rapport aux résidents étrangers. Si l'on n'y prend pas garde, de telles attitudes pourraient se traduire dans la programmation de véhicules autonomes. Pour répondre à ces différences d'approches morales et éthiques, il est essentiel, à nos yeux, de faire primer les principes éthiques du droit international, tels que l'égalité entre hommes et femmes stipulée dans le préambule de la Déclaration universelle des droits de l'homme, sur certaines convictions locales qui les bafouent. Il nous semble donc évident qu'il est immoral et éthiquement inacceptable de programmer des véhicules autonomes qui, par exemple, donnerait la priorité à la vie à des hommes sur celle des femmes. En matière éthique, il nous semble même que le respect des principes éthiques du droit international doit primer sur toute autre forme de considération dans la programmation des véhicules autonomes. Nous reviendrons sur ce point plus loin dans le mémoire.

Par ailleurs, l'enquête *Moral Machine* a mis en avant une autre variable parmi celles qui expliquent les préférences culturelles et économiques : la différence entre une culture collectiviste et une culture individualiste (Awad et al, 2018). Les répondants issus d'une culture

individualiste, qui comprend notamment la France, les États-Unis et l'Australie, favorisent le bien-être de chaque personne et montrent une préférence plus importante pour épargner le plus grand nombre. Les répondants provenant d'une culture collectiviste, qui concerne principalement les pays de l'est comme le Japon, Taïwan et la Chine, mettent en avant le respect dû aux membres les plus âgés de la communauté et montrent une préférence plus importante pour épargner les personnes plus âgées. Ces préférences différenciées entre cultures collectiviste et individualiste constituent des éléments sur lesquels il est essentiel de se pencher dans le cadre de la mise en place des règles éthiques des véhicules autonomes (Annexe 2).

Précisons tout de même que les chercheurs de l'enquête *Moral Machine* ont reconnu que leurs résultats pouvaient être faussés, étant donné que l'échantillon de participants n'était pas représentatif de la population (Awad et al, 2018). Les personnes qui ont participé à l'étude ont été « autosélectionnées », ce qui signifie en l'occurrence qu'elles sont plus susceptibles d'être connectées à Internet, d'avoir un statut social plus élevé ou d'être plus familiarisées avec la technologie. Et ce sont sans doute ces mêmes personnes, intéressées par les progrès de la technologie et de l'intelligence artificielle et disposant de moyens financiers plus importants, qui seraient susceptibles, du moins dans un premier temps, d'acheter des véhicules autonomes.

Enfin, certains résultats de l'étude sont actuellement utilisés dans des pays qui testent des voitures autonomes. Nul doute que les résultats de ces essais joueront un rôle important dans la création de ces véhicules à l'échelle mondiale et dans la mise en place des réglementations. Sur le plan éthique, il s'agira de vérifier si l'idée d'instaurer des règles de manière unanime à travers le monde dans le cadre de la programmation des véhicules autonomes est judicieuse ou si, au contraire, des adaptations seront nécessaires selon les pays.

En définitive, il nous semble donc pertinent d'utiliser des enquêtes, telle que celle proposée par *Moral Machine*, pour avoir l'avis des gens et prendre en considération leurs convictions morales. Leur avis nous importe pour aider les programmeurs et décideurs qui les entourent à choisir des options éthiques acceptables par la majorité des futurs utilisateurs.

Mais, comme déjà stipulé ci-dessus, quelles que soient les options retenues, il nous semble impératif qu'elles soient en conformité avec les normes éthiques internationales.

3. L'éthique doit-elle se conformer aux convictions du grand public ?

L'enquête Moral Machine a mis en avant trois groupes culturels qui se distinguent par leurs convictions morales. Nous avons mentionné les raisons pour lesquelles prendre leur avis en considération était utile. Mais, il ne faut pas laisser le dernier mot aux utilisateurs car ceux-ci n'ont pas les connaissances et les qualifications suffisantes pour répondre aux questions éthiques. Alors, à qui revient la difficile tâche d'établir les règles éthiques qui guideront les véhicules autonomes ? Il nous semble judicieux de mettre en place un comité éthique pluridisciplinaire qui sera en charge de représenter la société civile et prendre les décisions finales en la matière. Ce comité devrait être composé d'un large panel d'acteurs de la société civile aux compétences diverses et complémentaires. Ci-dessous, nous illustrerons plusieurs scénarios d'accidents mettant en avant des différentes questions éthiques. Ensuite, nous clarifierons le terme de véhicule dit « autonome ». Nous proposerons enfin une solution pour répondre définitivement aux questions éthiques et détaillerons, dans ce cadre, le rôle et la composition d'un comité d'éthique pluridisciplinaire.

3.1. Quelles questions éthiques pourraient se poser lors d'un accident ?

Tout au long de ce mémoire, nous avons vu que même si le recours aux véhicules autonomes sera en mesure de réduire drastiquement le nombre d'accidents de la route, des situations subsisteront dans lesquelles de tels accidents ne pourront pas être évités. Il y a entre autres bon nombre de situations dans lesquelles des questions éthiques se poseront et dans lesquelles des choix devront avoir été pris. Dès lors, il est impératif de programmer les algorithmes de ces véhicules en connaissance de cause et avec la plus grande pertinence. Ci-dessous, nous illustrerons plusieurs problèmes éthiques qui pourraient être rencontrés dans le cadre de la mise en circulation de véhicules autonomes.

3.1.1. Un choix en fonction du sexe ou de la couleur de peau est-il acceptable ?

Imaginons un véhicule autonome soudainement confronté à un obstacle. Pour l'éviter et sauver son occupant, il doit dévier de sa trajectoire. Un dilemme se présente : s'il dévie à gauche, le véhicule heurtera une personne noire ; s'il tourne à droite, il heurtera une personne blanche. Nous pouvons imaginer un scénario similaire avec, d'un côté, une femme et, de l'autre, un homme. Comment le véhicule devrait-il être programmé ? Dans pareils cas, il nous semblerait éthiquement, moralement et légalement incorrect de programmer un algorithme qui choisirait une personne en fonction de sa couleur de peau ou de son sexe.

En 2014, une étude menée par l'Université d'État de Portland, a démontré que les conducteurs étaient moins susceptibles de s'arrêter pour laisser passer les piétons noirs (Kloetzli, 2019). Programmer les véhicules autonomes sur de tels comportements constituerait un acte discriminant, interdit et punissable par la loi. Une telle programmation serait notamment contraire aux principes fondamentaux de la Déclaration universelle des droits de l'homme qui stipule entre autres, en son article 3, que « tout individu a droit à la vie, à la liberté et à la sûreté de sa personne ».

Par ailleurs, d'autres études ont également démontré que les personnes noires encourraient plus de risques que les personnes blanches de se faire renverser par un véhicule autonome. La détection de personne à la couleur de peau foncée serait en effet moins précise que pour les personnes blanches (Kloetzli, 2019). Sur le plan technologique, il nous paraît dès lors primordial d'apporter les corrections nécessaires aux logiciels actuellement existants, afin d'assurer de manière équivalente la détection de tous les piétons, sans aucune discrimination.

3.1.2. Le critère du nombre doit-il entrer en ligne de compte dans la programmation du véhicule ?

Considérons à présent un véhicule autonome avec, à son bord, une famille de cinq personnes. Celui-ci se retrouve dans une situation compliquée où se pose, une fois encore, la question de savoir comment il aura été programmé : deux piétons traversent une chaussée de manière impromptue. Comment le véhicule réagira-t-il ? Sauvera-t-il en priorité ses cinq occupants en sacrifiant les deux piétons ou, inversement, les deux piétons au dépend de ses occupants ?

Dans ce cas de figure, nous ne prenons en compte que le critère du nombre comme variable explicative de la prise de décision. De ce seul point de vue, nous pensons qu'il serait plus juste éthiquement de sauver en priorité le plus grand nombre de personnes. Cependant, le critère du nombre est-il suffisant pour une telle prise de décision ? Il pourrait y avoir des scénarios dans lesquels les cinq occupants de la voiture sont toutes des personnes âgées et les deux piétons soient des enfants en bas âge. D'autres critères, comme la robustesse du véhicule et la vulnérabilité effective de ses occupants, devraient également être pris en considération au cas par cas. Nous reviendrons ci-dessous sur de tels critères et sur leur prise en considération éventuelle.

3.1.3. Le critère de l'âge est-il pertinent ?

Un véhicule autonome confronté à un dilemme devrait-il prendre en compte le critère d'âge des personnes impliquées dans l'accident ? Imaginons un véhicule autonome avec, à son bord, une personne d'une vingtaine d'années. Le véhicule roule dans un quartier résidentiel et, soudain, un obstacle apparaît sur la route. Le véhicule devra dévier de sa trajectoire pour esquiver l'obstacle. Or d'un côté de la route, sur le trottoir, se trouve une personne âgée, tandis que de l'autre côté, un enfant qui joue. Le véhicule devrait-il dévier à gauche et heurter la personne âgée ou tourner à droite et heurter l'enfant ? Du point de vue éthique, il nous paraît difficile, une fois encore, de trancher cette question de manière univoque. Est-ce que le véhicule fonce sur la personne plus âgée car on le prive de moins d'années additionnelles ou parce qu'il a déjà eu la chance de vivre longtemps ? Est-ce que le véhicule fonce directement sur l'obstacle sur sa route car la personne au volant du véhicule a plus de chance de s'en sortir ? Est-ce que le véhicule fonce sur l'enfant qui joue au nom de toute autre justification ?

Au vu de telles questions, qui trouveront des réponses très diverses en fonction des arguments avancés par les uns et les autres, il ne nous paraît pas à priori moralement acceptable de choisir une personne à sacrifier en fonction de son âge. Toute personne a le même droit à la vie, qu'elle soit vieille ou jeune.

3.1.4. Devons-nous tenir compte de la robustesse des véhicules ?

Un autre critère que nous pourrions prendre en compte est la robustesse d'un véhicule autonome – et donc la sécurité potentielle accrue qu'il offre à ses passagers – par rapport à d'autres véhicules sur sa route, par exemple. Imaginons qu'un véhicule autonome roule sur l'autoroute. Devant lui, un camion transportant de la marchandise perd soudainement un objet lourd et de grande taille. La voiture autonome ne peut pas s'arrêter à temps pour éviter la collision et l'algorithme doit être programmé pour que le véhicule puisse réagir à la situation. Trois options s'offrent au véhicule autonome : continuer tout droit et heurter l'objet, dévier à gauche et heurter un SUV ou dévier à droite et heurter une moto. Si l'algorithme est programmé pour minimiser les dégâts en prenant en compte la sécurité des passagers des véhicules impliqués, la voiture devrait logiquement tourner à gauche et heurter le SUV, dont le taux de sécurité des passagers est plus élevé. En revanche, si le véhicule est programmé pour sauver en priorité son occupant, il devrait dévier à droite et heurter la moto. Une fois encore, se pose la question de savoir de quelle manière l'algorithme devrait être programmé pour obtenir la réaction la plus juste sur le plan éthique. Si cette voiture était conduite en mode manuel, n'importe quelle décision serait considérée comme une réaction humaine, instinctive, sans objectif de malveillance et non comme une décision délibérée. À l'opposé, si un algorithme programmé ordonnait au véhicule d'agir de telle ou telle façon, cela serait considéré comme un acte volontaire et prémédité.

L'option de heurter le SUV pour diminuer drastiquement les chances que quelqu'un meure nous semble à priori l'option la plus juste car heurter la moto pour sauver à tout prix l'occupant du véhicule pourrait être considéré comme un meurtre avec préméditation. Toutefois, une telle option est-elle vraiment équitable ? Si l'algorithme était programmé de manière à rentrer systématiquement en collision avec les véhicules présentant le plus de sécurité, cela ne serait pas moralement juste pour les usagers qui choisissent des modes de transport plus sécurisés. Ceux-ci auraient de facto plus de risques de se retrouver impliqués dans des accidents, alors même qu'au départ, ils ont sans doute choisi ce type de véhicules pour une sécurité accrue.

En définitive, nous pensons que le critère de robustesse d'un véhicule peut donc entrer en compte dans la programmation des algorithmes, à la condition sine qua non que l'objectif poursuivi soit de limiter au maximum le nombre de personnes impliquées dans un accident et non de sauver en priorité l'occupant du véhicule autonome.

3.1.5. Dans quelle mesure le respect du Code de la route est-il déterminant ?

Un autre critère que nous devons évidemment prendre en compte est celui du respect du code de la route. Nous pouvons illustrer ce critère en présentant le dilemme suivant : un véhicule arrive au niveau d'un passage pour piétons, le feu est vert pour lui, une personne traverse au feu rouge, le véhicule n'a pas le temps de freiner. Deux possibilités se présentent : soit le véhicule continue sur sa trajectoire et écrase le piéton qui enfreint le code de la route, soit il dévie de sa trajectoire et s'écrase dans des véhicules garés sur le bas-côté au risque de sacrifier le passager du véhicule autonome. Comment ce dernier devrait-il être programmé face à pareille situation ? À priori, nous serions tenté d'affirmer qu'il serait plus juste de programmer les algorithmes de sorte à sacrifier en priorité toute personne qui ne respecte pas le code de la route. Toutefois, il apparaît évident que la personne présente dans le véhicule autonome bénéficie d'une meilleure protection corporelle que le piéton. Autrement dit, elle aurait plus de chances de s'en sortir avec quelques égratignures par rapport au piéton qui, à coup sûr, risquerait des lésions importantes voire mortelles.

À travers cet exemple, on constate une fois de plus toute la complexité de répondre de manière péremptoire, tranchée et définitive à ce type de dilemme. Nous reviendrons plus bas sur ce point.

3.1.6. Prise en compte multifactorielle

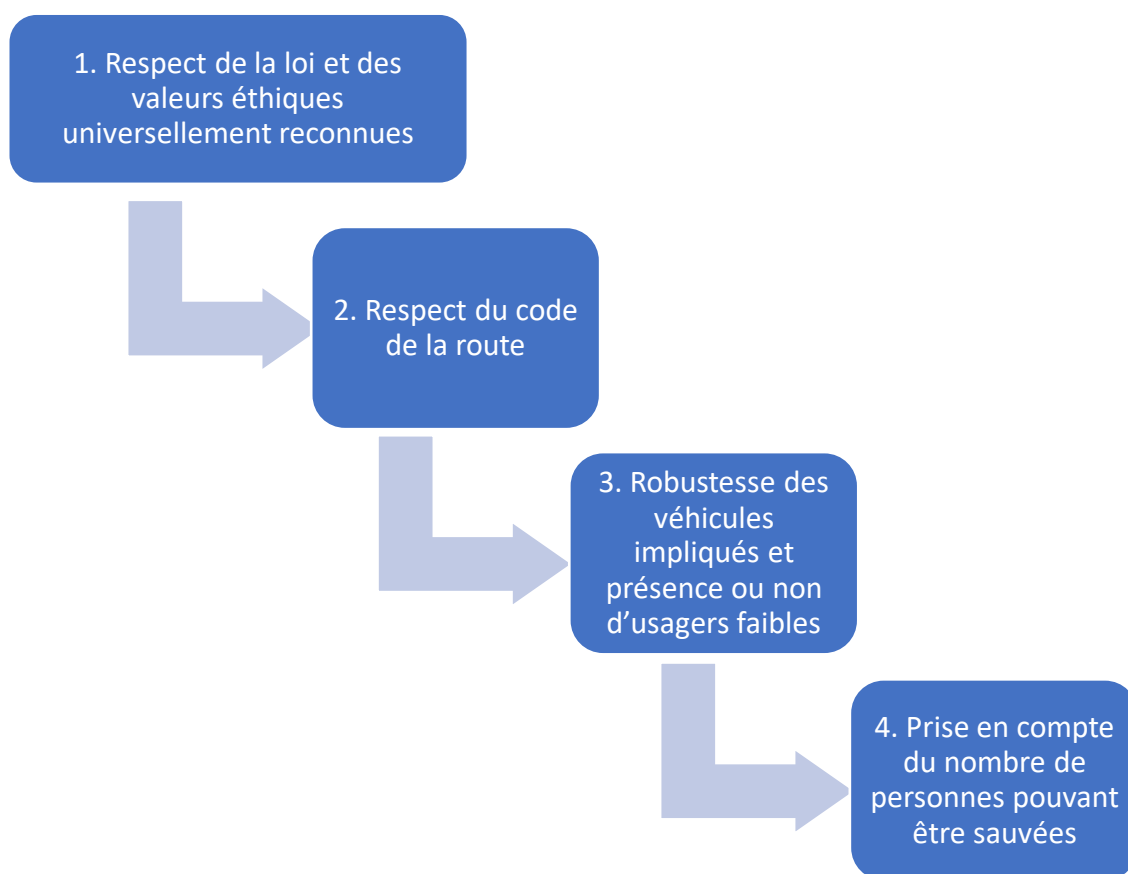
Compte tenu des multiples exemples et critères abordés ci-dessus, il nous semble évident qu'il faille considérer un ensemble de facteurs pour établir une échelle des options et des préférences dans la programmation des véhicules autonomes.

Afin d'illustrer notre propos, recourons à un scénario tout à fait plausible. Imaginons une femme à bord d'un véhicule autonome empruntant une route à deux voies. En sens contraire,

un bus avec trois personnes à bord, deux noirs et un blanc, se dirige vers le véhicule. Sur une route perpendiculaire, du côté du véhicule autonome, un groupe de cinq piétons, parmi lequel figurent deux enfants, traverse la route alors que le feu est rouge pour eux. Soudain, pour une raison x , le bus dévie de sa trajectoire et se dirige vers le véhicule autonome. Les algorithmes programmés dans ce véhicule n'ont que quelques dixièmes de secondes pour réagir. Le véhicule autonome dispose de trois choix. Un : il continue sur sa lancée et entre en collision avec le bus, vu que le bus dispose d'une masse et d'une sécurité suffisantes pour protéger ses passagers et peut-être l'occupant du véhicule autonome. Deux : le véhicule s'écarte de sa trajectoire pour sauver son occupant et les trois personnes dans le bus mais écrase les cinq piétons qui traversent illégalement. Trois : le véhicule autonome fait une embardée dans un mur, ce qui conduira probablement à la mort de son occupant mais sauvera sans doute la vie du plus grand nombre de personnes, c'est-à-dire les cinq piétons et les trois personnes du bus.

Cette situation complexe présente beaucoup de variables. Au vu des différents critères abordés dans cette situation ainsi que dans les exemples évoqués séparément dans les sections précédentes du présent chapitre, il nous semble judicieux de les prioriser et donc d'établir une hiérarchie entre toutes ces variables. Nous soutenons tout d'abord que le véhicule doit être programmé de sorte à ne pas enfreindre la loi et ne pas aller à l'encontre des valeurs humaines et éthiques défendues à travers le monde. Donc, la programmation ne pourra pas être conçue pour choisir l'une ou l'autre option qui sacrifierait des personnes sur la base de critères discriminatoires tels que la couleur de peau, l'âge ou le sexe. Ensuite, nous pensons que le deuxième critère à prioriser est celui du code de la route. Dans notre exemple le véhicule devrait être programmé pour dévier de sa trajectoire et sacrifier les personnes qui traversent illégalement et ainsi sauver son occupant et les trois personnes dans le bus, sauf s'il s'avère que la robustesse et les protections offertes par le véhicule autonome et le bus présentent moins de risques corporels pour leurs occupants. Troisièmement, au regard de cette dernière remarque, il nous semble judicieux de prendre en compte la robustesse des véhicules impliqués et la présence ou non d'utilisateurs faibles de la route (piétons, cycliste, etc.). Enfin, si aucune des variables précédentes ne peut être prise en compte lors de l'accident, il nous semble pertinent de prendre en compte le nombre de personnes impliquées et de programmer le véhicule de sorte à sauver la vie du plus grand nombre de personnes.

Si l'on schématise ce qui précède, l'ordre des priorités pourrait être le suivant :



En ce qui concerne les critères discriminatoires, nous avons abordé des exemples flagrants de discrimination. Il y en a toutefois bien d'autres à prendre en considération. Cette réflexion n'en n'est pas à ses débuts ; une série d'organismes se penchent déjà sur ces problèmes. Nous avons toutefois pu prendre connaissance d'un début de consensus par rapport à ces critères. L'*Institute of electrical and electronics engineers* (IEEE), une association professionnelle qui a pour but de promouvoir la connaissance dans le domaine de l'ingénierie électrique, confirme notre point de vue : l'IEEE s'engage à « *traiter de manière équitable toutes les personnes et à ne pas se livrer à des actes de discrimination fondés sur la race, la religion, le sexe, le handicap, l'âge, l'origine nationale, l'orientation sexuelle, l'identité de genre ou l'expression de genre.* » (IEEE, 2020).

De même, la Commission allemande d'Éthique sur la conduite automatisée et connectée est la première institution au monde à avoir essayé de définir des règles éthiques officielles pour les véhicules autonomes. L'une de ces règles, qui vient également appuyer notre opinion, interdit une programmation en prenant compte de critères basés sur des caractéristiques personnelles (âge, genre, constitution physique ou mentale) (Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, 2017). Toutefois, nous insistons sur le fait qu'il ne suffit pas de décréter ces dires mais qu'il faut se donner les moyens de les mettre en application. Nous n'avons encore trouvé nulle part un *modus operandi* veillant à appliquer des critères non discriminatoires dans le cadre des véhicules autonomes, de telle sorte que ces critères puissent être traduits dans les algorithmes des véhicules autonomes.

Nous venons d'aborder plusieurs questions présentant des dilemmes éthiques. Sur cette base, nous avons proposé une ligne de conduite, des préférences, des hypothèses, une opinion. Mais tout ceci n'est-il pas au final que pure subjectivité ? La prise en compte du nombre de personnes pouvant être sauvées ne devrait-elle pas être la première des priorités et non la quatrième, tel que nous l'avons proposé ? Nous ne pouvons pas donner de réponses définitives. Nous ne sommes pas représentatifs de la société civile et nous n'avons pas les qualifications et les compétences suffisantes pour répondre à ces questions de manière catégorique. L'éthique est un vaste domaine qui exige des réponses autres que simplement intuitives, tel que nous les avons produites. Ces réponses exigent l'implication de multiples savoir-faire, de multiple savoir-être et de multiples connaissances scientifiques. Afin de satisfaire de telles exigences, nous aborderons plus loin une solution qui nous paraît plus qu'opportune et certainement plus représentative de la communauté scientifique et de la société civile.

3.2. Peut-on vraiment parler de véhicule « autonome » ?

Par définition, l'autonomie se définit par « le droit de se gouverner par ses propres lois, à l'intérieur d'un État » ou par « la capacité de quelqu'un à être autonome, à ne pas être dépendant d'autrui ; caractère de quelque chose qui fonctionne ou évolue indépendamment d'autre chose » (Larousse, 2020). Compte tenu de ces définitions, le terme véhicule « autonome » est-il vraiment approprié ?

Parler de véhicule « autonome » donne l'impression de donner vie à cet objet. Or cette machine ne fait que répondre à des algorithmes, soit à « des suites finies et non ambiguës d'opérations ou d'instructions permettant de résoudre une classe de problèmes ». Dit autrement, le véhicule ne prend aucun choix ; il est entièrement dépendant des lignes de codes informatiques qui lui ont été programmées. Si le véhicule était autonome comme le stipule la définition, ce serait l'ordinateur à son bord qui dicterait ses propres lois, déciderait de la façon d'agir en cas de problème. Ce n'est évidemment nullement le cas.

Lorsqu'un conducteur humain, qui conduit un véhicule classique, est confronté à un dilemme pour lequel il doit faire un choix, il agit intuitivement en fonction du contexte. Contrairement à cette décision intuitive, l'équipe responsable de la programmation des véhicules autonomes devra décider – ou, plus exactement, aura dû décider préalablement – des calculs optimaux pour chaque situation potentielle, bien avant que la voiture ne soit mise en circulation. Cette équipe sera chargée de coder l'ordinateur des véhicules, et d'y instaurer les principes et règles qu'elle aura définis en amont. Tous les scénarios possibles et imaginables devront être pensés à l'avance dans le but de pouvoir apprendre à la machine ce qu'elle devra faire lorsqu'elle rencontrera des obstacles. Pour ce faire, elle devra suivre une ligne directrice basée sur des codes éthiques et moraux prédéfinis. Lorsque le véhicule sera sur la route, on ne pourra plus rien faire.

Gardons à l'esprit que ces machines seront programmées par des humains et qui dit « humain » dit « erreurs potentielles ». Nous n'aurons pas dès lors certainement des véhicules autonomes parfaits du premier coup. Il faudra les expérimenter et ensuite les améliorer.

Tout cela étant, l'intelligence artificielle, qui n'en est aujourd'hui qu'à ses balbutiements, se développe à un rythme effréné depuis quelques années. Il ne fait nul doute qu'elle connaîtra des développements tels que les véhicules autonomes pourraient en bénéficier fortement à l'avenir. Tout ceci se traduirait par le fait que la machine apprendrait par elle-même sur la base de ses erreurs, des multiples situations rencontrées et des métadonnées disponibles, et qu'elle pourrait alors évoluer vers une forme d'auto-apprentissage synonyme d'une plus grande indépendance et donc d'une plus grande autonomie (Bourdet, 2017). Mais, là encore,

se poseront de multiples questions éthiques, dont la première est sans nul doute de savoir quel degré d'autonomie on laissera à ces véhicules.

3.3. Le comité d'éthique pluridisciplinaire

Comme nous l'avons mentionné plusieurs fois dans ce travail, la prise de décision des codes éthiques et moraux ne pourra pas être laissée uniquement aux programmeurs ni au public. Les programmeurs devront être les exécutants des décisions qui, selon nous, devraient être prises par un comité d'éthique pluridisciplinaire. Celui-ci prendra notamment en compte l'avis du grand public au travers d'enquêtes telle que celle de Moral Machine.

Mais bien au-delà de cette seule consultation populaire, il nous semble primordial d'instaurer une équipe composée de spécialistes de différents domaines. Ces experts pourront se challenger et arriver à prendre des décisions relatives aux règles éthiques à appliquer dans la programmation des véhicules autonomes en confrontant leurs points de vue et divergences éventuelles. Ils devront user de leur savoir-faire et savoir-être, partager toutes leurs compétences, toutes leurs expériences.

Les décisions prises par le secteur automobile devront être entourées de toutes les précautions pointées par cette équipe pluridisciplinaire. Selon nous, le rôle de cette équipe ne devrait pas être seulement un rôle de consultation en matière de règles éthiques mais plutôt de décision.

Nous imaginons aussi - voire recommandons - que ce comité d'éthique pluridisciplinaire soit le plus représentatif possible de toutes les disciplines touchant directement et indirectement aux questions à la fois éthiques, technologiques et autres qui auraient un impact sur la mise en circulation des véhicules autonomes. Ainsi, il nous paraît judicieux que cette équipe soit représentative d'une « éthique universelle » et qu'elle soit composée notamment d'éthiciens, des hommes politiques, de sociologues, de philosophes, de médecins, de spécialistes du code de la route, de comités de citoyens, d'ingénieurs et de programmeurs. Nous reviendrons sur l'universalité dans le dernier point de ce chapitre.

Le comité d'éthique pluridisciplinaire aura un rôle bien précis. Tout d'abord, il aura des missions techniques avec pour objectif d'évaluer, à l'aide des ingénieurs et des spécialistes de la route, les moyens à mettre en place pour assurer une protection plus efficace. Nous pensons notamment au type de carrosserie ou au moyen de protection à l'intérieur de l'habitacle. En ce qui nous concerne, par rapport à la problématique de ce mémoire, le comité aura pour première mission d'identifier le type de discrimination possible dans les différents États ainsi que les différences culturelles. Ensuite, il devra envisager tous les scénarios imaginables et répondre aux questions morales qui se posent et décider des règles éthiques à adopter. Finalement, sa dernière mission sera d'assurer un suivi dès que les véhicules autonomes auront été expérimentés en conditions réelles et, au besoin, d'adapter les règles éthiques en vue d'une reprogrammation des algorithmes.

On aura compris que ce comité devra être actif en permanence car, comme nous l'avons souligné précédemment, l'erreur est humaine et nous ne pourrions pas arriver à un résultat optimal du premier coup. Il est important de préciser que le comité doit avoir une reconnaissance légitime des États, du public et des constructeurs. Les règles qui seront décidées devront être inscrites dans le Code de la route. En effet, nous ne pouvons pas parler d'un comité décisionnel si ses décisions ne sont pas respectées et donc inscrites dans la loi.

Il nous importe aussi d'insister sur le fait que cette équipe devra agir en toute transparence et en conformité avec les lois et les principes moraux soutenus à travers le monde. Ci-dessous, nous exposons la raison d'être de la présence des différents acteurs énumérés précédemment afin de composer le comité d'éthique pluridisciplinaire.

3.3.1. Les éthiciens

Un éthicien est une personne experte en éthique, principalement pour les questions qui touchent les progrès scientifiques et techniques. Le rôle des éthiciens n'est pas de résoudre les problèmes majeurs en matière d'éthique mais plutôt de les clarifier pour que le dialogue puisse se dérouler dans des termes appropriés qui identifient réellement le ou les cœurs du problème. Ces personnes ont donc aussi pour profession de réfléchir aux questions morales soulevées par des situations spécifiques résultant des progrès de la science ou de l'émergence

de nouvelles technologies. Leur présence dans le comité d'éthique nous semble nécessaire afin d'éclaircir les questions morales qu'induit la création de ce nouveau mode de transport. Ils apporteront leur expertise et leurs connaissances dans le but de démarrer le débat sur des bases solides et d'aboutir plus rapidement à des solutions, à des prises de décision.

3.3.2. Les hommes politiques

Nous pensons que les hommes politiques ont un rôle important à remplir dans ce comité d'éthique. L'un des rôles de nos élus est d'organiser la société pour améliorer les conditions de vie de la population. Dans le cadre de prise de décisions pour les règles éthiques des véhicules autonomes, ils seront là aussi pour garantir le respect des lois. La politique doit jouer un rôle de surveillant et interdire toutes les règles qui iraient à l'encontre des principes institutionnels défendus à travers le monde. Les hommes politiques présents dans le comité devront également faire en sorte d'être le plus représentatif possible des opinions de la société civile, à l'instar de qu'ils font déjà au sein des hémicycles parlementaires. Ils seront enfin là aussi pour rappeler les politiques déjà mises en place concernant les modes de transports automatisés et connectés.

3.3.3. Les sociologues

Les sociologues ont pour profession d'analyser et d'étudier les faits et les groupes sociaux mais aussi les différentes formes de sociétés. Ces personnes auront pour but de rechercher des explications et des compréhensions sociales. Au vu des disparités sociologiques et culturelles à travers le monde, nous jugeons utile de les associer au le comité en vue notamment d'aider à déterminer des dénominateurs communs universels sur le plan éthique en vue de la programmation des véhicules autonomes. Il ne nous paraît en effet pas concevable que ces véhicules puissent être programmés avec des « logiciels éthiques » différents selon les pays où ils circuleront.

3.3.4. Les philosophes

Le rôle d'un philosophe est de réfléchir et d'agir sur l'opinion de son temps. Les philosophes des temps modernes sont des personnes qui apportent leur contribution dans plusieurs domaines de la philosophie, de l'éthique, de la logique, de la métaphysique, de la théorie

sociale et de la philosophie politique. Ils ont une vue sur plus de 2000 ans d'histoire et sur l'évolution de la notion d'éthique et de ses principes.

Il nous semble donc judicieux que le comité prenne en compte leur avis. Les philosophes sont à même d'apporter des éclaircissements et précisions sur certaines règles, notamment éthiques, et leur degré d'efficacité réelle ou potentielle. À ce jour, il existe déjà au moins un groupe important de philosophes qui se penche sur le problème moral des véhicules autonomes ; il tente de construire des algorithmes pour résoudre le dilemme du tramway et montrer comment une voiture autonome répondrait selon la théorie éthique qu'elle suit (Owain, 2018). Ce groupe de philosophes ne prend actuellement pas position en déterminant quelle théorie est juste ou non mais il espère plutôt que ses résultats apporteront des éclaircissements et permettront à d'autres personnes de prendre des décisions.

3.3.5. Les médecins

Nous estimons que les médecins ont également leur rôle à jouer dans ce comité. Au cours de leur études ils ont étudié l'éthique, qui dans leur domaine, est une composante essentielle. La médecine a été la première profession à instaurer ses principes éthiques en raison de son approche de la vie humaine. Dans leur métier, ils sont souvent confrontés à des situations problématiques qui impliquent des décisions qui ne sont pas toujours en rapport avec les connaissances médicales. Le cours d'éthique prépare les futurs médecins à répondre à ces situations sur base de principes rationnels. Ils pourront dès lors apporter des précisions pour les situations moralement et éthiquement compliquées des véhicules autonomes. De plus, ils connaissent mieux que personne la nature des lésions corporelles et auront sûrement des avis à donner sur la manière de renforcer certaines protections dans l'habitacle des véhicules autonomes par exemple.

3.3.6. Les spécialistes du code de la route

Les spécialistes du code de la route pourront être utiles au comité d'éthique. Ils connaissent les tendances en matière d'accident de la route. Ils ont également accès à de nombreuses statistiques. Nous pensons que ces spécialistes aideront le comité car ils pourront analyser la réaction du véhicule en fonction de sa programmation. Le *Fatality Analysis Reporting System* (FARS) est un recensement des accidents de la route ayant entraîné la mort d'une personne

motorisée ou non dans les 30 jours suivant l'accident. Cette organisme indique notamment qu'une personne seule dans son véhicule à 14% de risque en plus de mourir, lors d'un accident, qu'une personne ayant un passager (FARS, 2018).

3.3.7. Les comités des citoyens

Les comités de citoyens donnent souvent une vision complémentaire des valeurs et convictions morales de certaines franges de la population. Ils mènent parfois aussi leurs propres enquêtes, qui pourront amener des nouveaux éclairages et réflexions sur certains aspects liés à la mise en circulation des véhicules autonomes.

3.3.8. Les programmeurs

Les programmeurs sont des personnes qui réalisent des logiciels à partir de directives données. Ce sont eux qui seront en charge de programmer les lignes de codes dans les véhicules autonomes. Vu qu'ils sont les exécutants des décisions prises, leur présence est évidemment indispensable dans le comité : ils savent ce qui est possible ou non de mettre en place. Les programmeurs étudient par ailleurs en permanence l'impact des dernières avancées technologiques sur le monde de demain. Cet aspect est bien sûr essentiel dans le cadre de la programmation actuelle des véhicules autonomes.

4. Est-il pertinent de laisser chaque utilisateur choisir son mode de conduite ?

Dans les points précédents, nous avons discuté des convictions du public et de l'importance d'établir un comité d'éthique pluridisciplinaire afin de décider de manière définitive quelles règles éthiques appliquer dans la programmation des véhicules autonomes. Mais nous pouvons aussi nous demander s'il est éthiquement acceptable de proposer, aux utilisateurs des véhicules autonomes, une option leur permettant de choisir le mode éthique de leur véhicule. Dès lors, ils pourraient choisir le mode de conduite qui correspond le mieux à leurs convictions morales (Gogoll et al., 2016).

Deux modes de conduite pourraient être envisagés. Un : un cadre éthique « altruiste » avec comme objectif la protection des usagers faibles (piétons, cyclistes, etc.) en priorité au détriment des occupants du véhicule. Deux : un cadre « égoïste » qui priorise la protection

des occupants du véhicule avant les usagers faibles. Nous soulignons, comme expliqué précédemment, que le respect de la loi doit primer avant toute autre chose. Avec une option d'un mode de conduite sélectif, la société permettrait à chaque occupant du véhicule de choisir son mode de conduite. Elle ne devrait pas chercher à imposer des règles contraignantes.

Partant de cette idée, on pourrait imaginer qu'une personne âgée envisage qu'elle a eu une vie suffisamment remplie que pour laisser la priorité aux autres, que quelqu'un de malade pourrait se dire qu'il préfère sauver les autres car il se sait condamné ou qu'une personne altruiste pourrait avoir la conviction qu'il est plus juste de sauver les personnes extérieures au véhicule en priorité. On pourrait même imaginer qu'un père de famille décide au contraire que même s'il est seul dans le véhicule, sa vie devrait être prioritaire et que le véhicule autonome doit tout mettre en place pour le sauver lui en priorité.

Par rapport au dilemme du tramway, pour lequel nous ne sommes pas face à un dilemme stratégique car seule notre action détermine le résultat obtenu, les véhicules autonomes seront confrontés ici à un problème différent. Si nous savons que tous les véhicules sont programmés de manière altruiste, nous pourrions aussi choisir ce cadre éthique car nous savons que nous ne sommes pas plus en danger que les occupants des autres véhicules autonomes. Nous pourrions également choisir le mode égoïste pour nous assurer que nous serions les premiers à être sauvés, quoi qu'il arrive. Mais, si nous savons que tous les autres véhicules sont programmés avec un cadre éthique « égoïste », nous ne serions probablement pas prêts à nous sacrifier au dépend des autres et nous choisirions aussi le mode égoïste.

Plusieurs études ont démontré que les gens soutiennent d'abord l'idée de sauver en priorité les usagers faibles (piétons, cyclistes, ...) à moins qu'elles soient elles-mêmes passagères du véhicule (Ackerman, 2016). Ces études démontrent donc qu'une majorité d'utilisateurs seraient plus enclins à choisir le cadre égoïste pour garantir leur propre sécurité. Par conséquent, le résultat d'une décision liée à un accident ne dépendra pas uniquement du cadre éthique qui aura été déterminé dans un véhicule autonome, mais il dépendra aussi du choix que d'autres utilisateurs auront fait dans leurs véhicules. Les questions éthiques et les choix moraux lors d'accidents deviendraient alors des dilemmes stratégiques.

Pour avoir une vision plus précise des interactions stratégiques entre les utilisateurs des véhicules autonomes pouvant choisir le cadre éthique, nous appliquerons la théorie des jeux pour illustrer le problème. Cette théorie permet d'analyser des situations où des personnes prennent des décisions dans le but de maximiser leur profit, tout en étant conscients que leur choix dépend du choix des autres. Aujourd'hui, cette théorie permet d'étudier les réactions comportementales et est devenue un terme général pour la science de la prise de décision chez l'humain, l'animal ou l'ordinateur. Dans une société composée uniquement d'individus altruistes, chaque personne a suffisamment de raisons de croire que tous les véhicules autonomes sont programmés de manière altruiste, ce qui permet à chaque personne de choisir également cette option. Cependant, dans une société dans laquelle nous ne pouvons pas prévoir le comportement des autres, même une personne altruiste peut avoir le sentiment qu'elle ne veut pas se « sacrifier » sachant que d'autres personnes ne le feraient probablement pas pour elle. Bien que cette personne souhaite être altruiste, elle ne veut pas qu'on profite d'elle.

Le dilemme du prisonnier est un exemple classique de jeu analysé dans la théorie des jeux qui illustre la raison pour laquelle deux personnes totalement rationnelles pourraient ne pas coopérer alors qu'il est tout à fait dans leur intérêt de le faire afin de maximiser leurs gains. Ci-dessous, nous présentons une situation pour laquelle deux occupants de véhicules autonomes auraient intérêt à coopérer pour maximiser leur « gain ». Ils devraient donc choisir le mode altruiste pour leur voiture autonome, mais le manque d'informations entre les deux utilisateurs conduit chacun à choisir de trahir l'autre pour être sûr de ne pas être trompé. Ils choisissent donc le mode égoïste (Gogoll et al., 2016).

Considérons la figure 8 ci-dessous :

		Joueur 1	
		Stratégie	
Joueur 2	Altruiste	3-3	0-4
	Egoïste	4-0	1-1

Figure 8 - Illustration du dilemme du prisonnier

Nous avons deux occupants qui ont chacun le choix entre le cadre altruiste et le cadre égoïste. Ils ne se connaissent pas et n'ont pas la possibilité de communiquer quel mode de conduite l'autre personne a choisi. Si l'occupant 1 choisit le mode altruiste et l'occupant 2 choisit le mode égoïste, le joueur 1 obtiendra 1 point et le joueur 2 obtiendra 4 points. Dans la situation inverse, le joueur 1 aura 4 points et le joueur 2 aura 1 point. Dans l'hypothèse où les deux joueurs choisissent tous les deux le mode altruiste, ils ont 4 points chacun et s'ils choisissent tous les deux le mode égoïste ils n'auront que 1 point chacun. Les deux joueurs sont conscients qu'ils pourraient maximiser le bien social en choisissant le mode altruiste mais chacun des joueurs sait aussi qu'il peut maximiser ses propres gains s'il choisit le mode égoïste et que l'autre joueur choisit le mode altruiste. De cette manière, il est fort probable que chaque joueur choisisse le mode égoïste pour ne pas être exploité par l'autre joueur et cette situation conduira au résultat socialement indésirable de 1 - 1.

Le dilemme du prisonnier représente une situation simplifiée du problème pour les véhicules autonomes car dans les scénarios réels de nombreuses autres variables sont à prendre en compte, notamment le nombre de personnes impliquées et le nombre d'options stratégiques possibles. Cependant, ce dilemme est suffisant pour comprendre la structure du problème social, à savoir l'attitude des personnes motivées séparément. Si suffisamment de personnes constatent que la stratégie expliquée ci-dessus maximise leur intérêt, les avantages que cette théorie pourrait apporter sont réduits à néant. Le résultat d'un cadre éthique personnel nous amène à penser que le sens moral pourrait être mis de côté si un mode de conduite personnel est proposé. Bien que cette idée d'un choix personnel permet à chaque personne d'établir son mode de conduite en fonction de ses convictions, nous estimons qu'elle ne fonctionnera pas dans le cadre des véhicules autonomes car le résultat aboutirait à un résultat socialement indésirable.

5. Est-il pertinent d'adapter les règles éthiques à la culture locale ?

À présent, nous pouvons nous demander s'il serait pertinent ou non d'adapter les règles éthiques en fonction de la culture locale ou s'il est plus judicieux d'arriver à un consensus au niveau mondial. Nous avons recommandé plus haut qu'il serait utile de créer un comité d'éthique pluridisciplinaire qui prendra les décisions finales. Mais, est-ce qu'il faudrait créer

un seul comité unique pour le monde entier, un comité par pays ou un comité par groupe culturel ?

Les véhicules autonomes sont devenus une réalité et nous avons vu que cette nouvelle technologie apporte de nombreuses questions éthiques. Bien que les préférences morales varient d'un pays à l'autre, que les convictions des gens peuvent être liées à la culture, à l'économie ou à la religion, nous pensons qu'il serait plus judicieux de trouver un ensemble de règles éthiques à appliquer universellement. Ce n'est pas parce qu'il existe différents groupes culturels que nous ne pouvons pas entamer le débat sur une base commune. Il nous paraît difficile de mettre en circulation une telle technologie et de programmer ces véhicules de différentes manières en fonction du pays. Si tel est le cas, un véhicule autonome devrait s'adapter à la réglementation de chaque pays dont il traverse la frontière, ce qui nous semble difficilement réalisable. Bien que ce soit réalisable sur le plan technique, cela nous paraît difficilement acceptable sur le plan éthique. Une approche des règles éthiques non uniformisée pourrait amener certains risques. Des cadres réglementaires différents peuvent déboucher sur un « shopping éthique » qui mènerait à une utilisation de l'IA vers des domaines présentant des normes éthiques moins exigeantes, ce que nous jugeons éthiquement incorrect. Autoriser le débat à se porter sur certaines régions risquerait d'exclure un éventail plus large de points de vue et d'intérêts sociétaux.

Nous estimons, voire recommandons, l'instauration d'un seul et unique comité d'éthique pluridisciplinaire à travers le monde pour répondre aux questions éthiques. Bien que la nécessité de répondre à ces questions soit de plus en plus reconnue, l'intelligence artificielle et la robotique se développent actuellement plus vite que le processus de résolution des différentes questions éthiques, légales et sociétales (GEE, 2018). Les initiatives actuelles semblent correspondre à une série de démarches disjointes. Il nous semble clairement judicieux de créer un dispositif large et ouvert qui permettrait l'établissement d'un cadre éthique et juridique partagé et reconnu à travers le monde pour la programmation des véhicules autonomes.

Le Groupe Européen d'Éthique (GEE) est un groupe qui a mis en place une déclaration sur l'intelligence artificielle, la robotique et les systèmes autonomes et appelle au lancement d'un

processus qui permettrait d'aboutir à un cadre éthique et juridique commun. Il soutient l'idée de la création d'un débat sociétal large se basant sur la diversité des points de vue et permettant à toutes les parties prenantes ayant des compétences et des valeurs différentes de faire valoir leur vision (GEE, 2018).

Comme nous l'avons déjà mentionné plus haut dans ce travail, il nous paraît opportun que la première étape du comité d'éthique pouvant servir de point de départ à l'établissement de règles internationales, consiste à démarrer la discussion sur des principes basés sur les valeurs essentielles établies dans les traités et les chartes des droits fondamentaux.

Ce dernier chapitre nous a permis de mettre en avant les différences culturelles en matière de choix moraux et d'identifier trois groupes culturels à travers le monde. Bien que l'opinion publique ne doive pas être le déterminant principal des règles éthiques, l'analyse de l'enquête Moral Machine a pu mettre en avant l'importance d'au moins en tenir compte. Ensuite, nous avons abordé plusieurs questions présentant des dilemmes éthiques. Nous avons donné des hypothèses et une opinion pour différents critères tels que l'âge, le nombre, le respect du code de la route, etc. Sur cette base nous avons pu proposer une ligne de conduite que pourraient respecter les véhicules autonomes. Compte tenu de la difficulté rencontrée pour répondre aux questions éthiques, nous avons jugé judicieux de proposer l'idée d'établir un comité d'éthique pluridisciplinaire qui prendrait en compte l'avis du public mais qui déciderait des règles éthiques après une analyse plus approfondie par de nombreux experts. Finalement, nous avons soutenu l'idée qu'il est nécessaire d'établir un cadre éthique obligatoire car la mise en œuvre d'un cadre éthique personnalisé entraînerait très probablement au dilemme du prisonnier, un résultat socialement inférieur. Il en va de même pour la mise en place de règles différentes en fonction du pays. Il nous semble plus opportun d'établir un consensus au niveau international.

CONCLUSION

L'idée d'un véhicule se conduisant à l'aide d'une nouvelle technologie et sans conducteur humain peut paraître une possibilité lointaine. Toutefois, les avancées en matière d'automatisation et d'intelligence artificielle progressent de manière exponentielle. Certaines fonctions semi-autonomes sont déjà proposées sur quelques modèles de véhicules actuels. Pour l'heure, nous ne connaissons que des véhicules fonctionnant en autonomie partielle ou de niveau 2, ils nécessitent toujours que le conducteur reste aux commandes. Selon diverses prédictions de l'industrie et de la recherche, les véhicules entièrement autonomes devraient être commercialisés d'ici à 2025. L'*Institute of Electrical and Electronics Engineers* soutient même l'idée que d'ici à 2040, 75 % des véhicules en circulation seront autonomes.

Cette nouvelle technologie comprend différents matériels tels que des lidars, radars et caméras embarquées. Ceci offre potentiellement de nombreux avantages : réduire les accidents de manière significative ; diminuer les problèmes de congestions ; augmenter l'accès à la mobilité pour un grand nombre de personnes ; et, avec le temps, changer radicalement la nature de nos déplacements. Les avantages escomptés sont considérables mais des barrières significatives à la mise en œuvre complète et à la pénétration du marché de masse demeurent. Le coût sera probablement l'un des obstacles majeurs. Ensuite, l'acceptation et l'éducation, l'aménagement des infrastructures actuelles et les questions liées à la vie privée et au piratage constitueront aussi, sans nul doute, d'autres obstacles à l'implémentation des véhicules autonomes.

Aujourd'hui comme demain, le développement technique se poursuivra à un rythme soutenu. Cependant, même lorsque toutes les dimensions impliquées dans la technologie des capteurs automobiles seront en mesure d'être correctement appréhendées, la nécessité d'un jugement de valeurs subsistera. C'est la raison pour laquelle il est essentiel de mettre en place un cadre éthique afin de guider les concepteurs automobiles lors de la programmation des algorithmes, et surtout, sur la manière dont les véhicules autonomes devront réagir en cas de dilemme.

Afin de comprendre et d'explorer les meilleures options pour définir un cadre éthique, nous avons commencé par analyser l'une des expériences de pensées les plus populaires : le *dilemme du tramway*. Cette analyse a mis en évidence deux grandes théories éthiques facilement adaptables aux véhicules autonomes : l'utilitarisme et le déontologisme. Cette expérience nous a révélé que la grande majorité des gens préfèrent détourner le tramway et ainsi sacrifier une personne pour en sauver cinq autres. Ce résultat soutient la première théorie éthique, celle de l'utilitarisme. Ensuite, dans une variante du problème, nous avons observé qu'il est inacceptable, pour la plupart des personnes interrogées, de provoquer intentionnellement la mort d'une personne pour en sauver cinq autres. Ce résultat soutient la deuxième théorie éthique, celle du déontologisme. Nous avons constaté que la doctrine du double effet permettait de comprendre la différence morale ressentie par les individus entre ces deux expériences de pensées.

Ensuite, nous nous sommes penchés sur une seconde expérience, celle de *Moral Machine*, qui nous a permis de comprendre, de manière plus approfondie, les pensées morales des individus à travers le monde lorsqu'ils sont confrontés à un dilemme. Cette expérience se base sur différents scénarios auxquels les véhicules autonomes pourraient être exposés. Son analyse nous a éclairés sur la façon dont les êtres humains font des choix et nous a apporté une meilleure compréhension sur la manière dont ils conçoivent l'intelligence artificielle liée à une machine programmée pour réagir d'une certaine manière. Finalement, cette analyse a mis en lumière une variation importante dans les décisions en fonction des pays et nous avons pu constater que celles-ci étaient liées à la culture, à l'économie ainsi qu'à la religion. Il nous semble donc essentiel de prendre en compte l'opinion de la population pour la rassurer, la familiariser avec cette nouvelle technologie et surtout accroître l'acceptabilité des voitures autonomes.

Par la suite, nous avons étudié la possibilité d'établir des règles éthiques. Pour ce faire, nous avons analysé plusieurs scénarios impliquant des véhicules autonomes, basés sur divers critères tels que le sexe, la couleur de peau, le nombre, l'âge, la robustesse du véhicule et le respect du code de la route. Nous avons ensuite procédé à une analyse multifactorielle qui nous a permis de proposer une ligne de conduite applicable aux véhicules autonomes. Nous avons suggéré un ordre des priorités commençant par le respect de la loi et des valeurs

éthiques universellement reconnues, suivi du respect du code de la route, de la robustesse des véhicules impliqués et enfin par la prise en compte du nombre de personnes pouvant être sauvées. Nous avons exclu la possibilité de prendre en considération des critères discriminatoires tels que le genre, la couleur de peau ou encore l'âge. Cette analyse reste toutefois subjective car nous ne pouvons pas prétendre avoir les connaissances suffisantes pour apporter des réponses définitives aux questions éthiques qui se posent. C'est pourquoi, il nous a semblé judicieux de proposer la mise en place d'un comité d'éthique pluridisciplinaire qui aura pour mission de confronter les points de vue de différents acteurs au sein du comité et qui aura un rôle décisionnel final.

Finalement, nous avons challengé l'idée du comité d'éthique en nous demandant s'il était éthiquement acceptable de laisser le choix du cadre éthique aux utilisateurs. Ceci nous a permis de constater qu'un choix individuel du cadre éthique conduisait au dilemme du prisonnier, un résultat socialement indésirable. De plus, nous nous sommes demandé s'il était judicieux d'établir différentes règles éthiques en fonction du pays, ce qui nous a semblé peu pertinent. Nous soutenons l'idée d'une programmation basée sur des valeurs et des règles universelles pour éviter de négliger certains points et plutôt ouvrir le débat de manière uniformisée en considérant tous les points de vue et les intérêts sociétaux.

Bien que nous soyons parvenus à établir une liste de règles éthiques pour les véhicules autonomes, et que nous ayons proposé une solution pour résoudre ces règles, ce mémoire présente certaines limites. Tout d'abord, les véhicules autonomes ne sont pas encore commercialisés. En conséquence, ses impacts positifs et négatifs ne peuvent donc pas encore être déterminés ni appréciés avec certitude. Ensuite, il existe encore de nombreuses questions éthiques ouvertes à l'heure actuelle, qui font l'objet de débats et pour lesquelles aucun consensus ne semble encore avoir été trouvé. C'est pourquoi les solutions et conclusions présentées dans ce mémoire ne sont que des propositions parmi d'autres. Ce travail reste ouvert à davantage de recherches et à d'autres suggestions.

Bibliographie

Ackerman, E. (2016). *People want Driverless cars with utilitarian ethics, unless they're a passenger*. IEEE Spectrum. En ligne <https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/people-want-driverless-cars-with-utilitarian-ethics-unless-theyre-a-passenger>, consulté le 13 mai 2020

AMToday (2018). *Véhicules autonomes : quelle victime choisir en cas d'accidents ?* AMToday. En ligne <https://www.am-today.com/article/vehicules-autonomes-quelle-victime-choisir-en-cas-daccident-video>, consulté le 14 juin 2020

Anderson, S.L. (2008). *Asimov's 'Three Laws of Robotics' and Machine Metaethics*, *AI and Society*, vol. 22, no. 4, pp. 477–493

Assemblée Nationale. *Proposition de loi constitutionnelle*. En ligne http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/textes/l15b2585_proposition-loi, consulté le 20 février 2020

Awad, E. & Dsouza, S. & Kim, R. & Schulz, J. & Henrish, J. (2018). *The Moral Machine Experiment*. *Nature* 563, 59-64. doi : <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0637-6>

Baghdad, J. (2019). *Véhicules autonomes : un défi technologique, sécuritaire ou morale ?* PwC France. En ligne <https://www.pwc.fr/fr/decryptages/transformation/vehicules-autonomes-un-defi-technologique-securitaire-ou-moral.html>, consulté le 10 juillet 2020

Blondiau, P. (2020). *La nouvelle loi sur la protection de la vie privée est entrée en vigueur*. En ligne <http://www.uvcw.be/impressions/toPdf.cfm?urlToPdf=/articles/0,0,0,0,178.htm>, consulté le 26 mai 2020

Bosh (2020). *Self-Driving Car Technology – Between Man and Machines*. En ligne <https://www.bosch.com/stories/autonomous-driving-interview-with-moritz-dechant/>, consulté le 15 janvier 2020

Bourdet, J. (2017). *Comment la voiture autonome apprend à conduire, pas à pas...* DAP. En ligne <https://dataanalyticspost.com/comment-la-voiture-autonome-apprend-a-conduire-pas-a-pas/>, consulté le 16 juillet 2020

Connectus (2019). *21 Keys Pros and Cons for Self-Driving Cars*. En ligne <https://connectusfund.org/21-key-pros-and-cons-for-self-driving-cars>, consulté le 16 février 2020

Dumestre, L. (2020). *Éthique et Intelligence artificielle : L'expérience « Morale Machine »*. Portail de l'IE. En ligne <https://portail-ie.fr/analysis/2371/ethique-et-intelligence-artificielle-l'experience-morale-machine>, consulté le 12 janvier 2020

Duquesne, O. (2016). *La convention de Vienne amendée pour la conduite autonome*. Le moniteur automobile.be. En ligne <https://www.moniteurautomobile.be/actu-auto/juridique/convention-de-vienne-amendee-conduite-autonome.html>, consulté le 10 juin 2020.

Elezaj, R. (2019). *Driverless Cars, Pros and Cons*. Inquirer.net. En ligne <https://usa.inquirer.net/17772/driverless-cars-pros-and-cons>, consulté le 2 mai 2020

Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (2017). *Ethics Commission Automated and Connected Driving*. En ligne https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/publications/report-ethics-commission-automated-and-connected-driving.pdf?__blob=publicationFile, consulté le 12 février 2020

Foot, P. (1967). *The Problem of Abortion and the Doctrine of Double Effect*. En ligne <https://philpapers.org/archive/FOOTPO-2.pdf>, consulté le 14 décembre 2019

Fontaine, E. (2017). *Audi A8 : un mode de conduite autonome de niveau 3*. Les Numériques. En ligne <https://www.lesnumeriques.com/voiture/audi-a8-mode-conduite-autonome-niveau-3-a3237.html>, consulté le 12 février 2020

Fontaine, E. (2018). *Voitures autonomes : premier accident mortel, Uber stoppe ses tests*. Les Numériques. En ligne <https://www.lesnumeriques.com/voiture/voitures-autonomes-premier-accident-mortel-implique-uber-n72583.html>, consulté le 30 avril 2020

Friedman, A. (Réalisateur). (2019). *Self-Driving Cars: State of the art*. [Vidéo] Youtube. En ligne <https://www.youtube.com/watch?v=sRxAMDDMWQQ>, consulté le 12 décembre 2020

Gadam, S. (2018). *Artificial intelligence and Autonomous Vehicles*. Medium. En ligne <https://medium.com/datadriveninvestor/artificial-intelligence-and-autonomous-vehicles-ae877feb6cd2>, consulté le 16 février 2020

Gaille, L. (2019). *20 Pros and Cons of Self Driving Cars*. Ittana.org. En ligne <https://vittana.org/20-pros-and-cons-of-driverless-cars>, consulté le 11 janvier 2020

Gaus, G. (2005). *Should Philosophers apply ethics ? Think*. Doi : <https://doi.org/10.1017/S1477175600002098>, consulté le 23 mars 2020

Gavois, S. (2016). *Éthique des voitures autonomes : « premières lignes directrices au monde » en Allemagne*. Next Impact. En ligne <https://www.nextinpact.com/news/101717-voiture-autonome-en-cas-daccident-mortel-mercedes-benz-prefere-sauver-conducteur.htm>, consulté le 30 avril 2020

Goodall, N. (2014). *Ethical Decision Making During Automated Vehicles Crashes*. Academia. En ligne https://www.academia.edu/4987835/Ethical_Decision_Making_During_Automated_Vehicle_Crashes, consulté le 12 avril 2020

Gimbaum, A. (Réalisateur). (2019). *Nous devons intégrer la notion de hasard dans les algorithmes des IA*. [Vidéo] Youtube. En ligne <https://www.youtube.com/watch?v=5Zm0Hxyv68>, consulté le 3 juin 2020

Harris, M. (2015). *Documents confirm Apple is building self-driving car*. The Guardian. En ligne <http://www.theguardian.com/technology/2015/aug/14/apple-self-driving-car-project-titan-sooner-than-expected>, consulté le 2 janvier 2020

Hauser, M. & Cushman, F. & Young, L. & Kang-Xing Jin, R. & Mikhail, J. (2007). *A Dissociation Between Moral Judgements and Justifications*, Vol. 22 No. 1, pp. 1-21. En ligne <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.174.5135&rep=rep1&type=pdf>

Hoffman, R. R. & Bradshaw, J. M. & Ford, K. M. (2009). *Beyond Asimov: The three laws of responsible robotics*. En ligne <http://www.inf.ufrgs.br/~prestes/Courses/Robotics/beyond%20asimov.pdf>, consulté le 30 mai 2020

IEEE (2020). *IEEE Code of Ethics*. En ligne <https://www.ieee.org/about/corporate/governance/p7-8.html>, consulté le 15 mai 2020

Kavitha, J.C., & Venugopal, A., & Pushparani, S. (2016). Algorithm for Security in Autonomous Cars. Academia. En ligne https://www.academia.edu/26336589/Algorithm_for_Security_in_Autonomous_Cars

Kloetzli, S. (2019). *Les personnes noires auraient plus de risque de se faire renverser par une voiture autonome*. Ubsek & Rica. En ligne <https://usbeketrica.com/article/personnes-noires-chances-renverser-voitures-autonomes>, consulté le 15 juillet 2020

Heudin, J.C. (2019). *Les trois lois d'Asimov*. Futura Tech. Futura Tech. En ligne <https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/robotique-trois-lois-robotique-1836/page/2/>, consulté le 17 mai 2020

Larousse. (2020). *Autonomie*. En ligne <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/autonomie/6779>, consulté le 14 juillet 2020

Leclercq, D. (2017). *Comprendre les 5 niveaux de la voiture autonome*. Automobile.be. En ligne <https://www.moniteurautomobile.be/actu-auto/mobilite/comprendre-5-niveaux-voiture-autonome.html>, consulté le 17 avril 2020

Le Point.fr (2018). *Combien de temps passons nous dans les transports ?* En ligne https://www.lepoint.fr/societe/combien-de-temps-passons-nous-dans-les-transports-17-01-2018-2187330_23.php, consulté le 19 janvier 2020

Le Minarchiste (2013). *L'utilitarisme et les problèmes de tramways*. En ligne <https://minarchiste.wordpress.com/2013/12/06/lutilitarisme-et-les-problemes-de-tramways/>, consulté le 12 février 2020

Max, A. (2019). *Marseille : Ils suivent leur GPS et finissent dans le Vieux-Port avec leur Véhicule*. 20 minutes. En ligne https://www.20minutes.fr/faits_divers/2651683-20191114-marseille-suivent-gps-finissent-vieux-port-vehicule-trois-personnes-sauvees-in-extremis, consulté le 13 décembre 2019

Maxmen, A. (2018). *Self-driving cars dilemmas reveal that moral choices are not universal*. Nature 562, 469-470. doi : 10.1038/d41586-018-07135-0

McVicker, K. (2019). *Ethical Understanding and Approaches to Autonomous Vehicles*. En ligne https://mountainscholar.org/bitstream/handle/20.500.11919/4409/STUW_HT_PHIL_2019_Tay_Kathryn.pdf?sequence=3, consulté le 16 mai 2020

Mialaret, C. (2017). *NVIDIA dévoile le premier ordinateur conçu pour le pilotage de véhicule totalement autonome*. Lediligent. En ligne <https://www.lediligent.com/2017/10/10/nvidia-devoile-le-premier-ordinateur-concu-pour-le-pilotage-de-vehicules-totalement-autonomes/>, consulté le 3 janvier 2020

Michon, C. (2016). *Anscombe et la doctrine du double effet*. En ligne <https://www.revue-klesis.org/pdf/Klesis-Anscombe-09-Cyrille-Michon-Anscombe-et-la-doctrine-du-double-effet.pdf>, consulté le 13 avril 2020

Moral Machine (2020). En ligne <https://moralmachine.mit.edu/>, consulté le 3 février 2020

Moral Machine (2020). En ligne <http://moralmachineresults.scalablecoop.org/>, consulté le 3 mars 2020

Moran, M. (2008). *Three Laws of Robotics and Surgery*. J. Endourology, vol. 22, no. 8, pp. 1557–1560.

Notre-planète.info (2019). *La place de l'automobile dans nos sociétés : faits et chiffres*. En ligne <https://www.notre-planete.info/ecologie/transport/placeauto.php#com>, consulté le 21 janvier 2020

NHTSA (2015). *Advancing Safety on America's Roads*. En ligne <https://one.nhtsa.gov/nhtsa/accomplishments/2015/index.html#advancing-safety>, consulté le 1 mai 2020

Organisation Mondiale de la Santé (2018). *Accidents de la route*. En ligne <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>, consulté le 14 février 2020

Owdin. (2018). *Les philosophes construisent des algorithmes éthiques pour aider à contrôler les voitures autonomes*. En ligne <https://owdin.live/2018/02/12/les-philosophes-construisent-des-algorithmes-ethiques-pour-aider-a-controler-les-voitures-autonomes/>, consulté le 20 juillet 2020

Rawls, J. (1993). *Rawl's Political Liberalism*. New-York : Columbia University Press

Rouse, M. (2019). *Self-driving cars (autonomous car or driverless car)*. Search Entreprise AI. En ligne <https://searchentrepriseai.techtarget.com/definition/driverless-car>, consulté le 14 janvier 2020

Rouse, M. (2020). *Artificial Intelligence*. Search Entreprise AI. En ligne <https://searchentrepriseai.techtarget.com/definition/AI-Artificial-Intelligence>, consulté le 16 mai 2020

Royer, F. (2020). *L'intelligence artificielle : quelle place pour la morale ?*. Pwc France. En ligne <https://www.pwc.fr/fr/decryptages/transformation/ia-quelle-place-pour-la-morale.html>, consulté le 26 juin 2020

Shariff, A. & Bonnefon, J.F. & Rahwan, I. (2017). *Psychological roadblocks to the adoption of self-driving vehicles*. Nature Human Behaviour 1, pp. 694-696. En ligne <https://www.nature.com/articles/s41562-017-0202-6?draft=collection>, consulté le 13 juillet 2020

Sloman, A. (2006). *Why Asimov's Three Laws of Robotics are Unethical*. En ligne www.cs.bham.ac.uk/research/projects/cogaff/misc/asimov-three-laws.html, consulté le 16 juin 2020

Stanford Encyclopedia of Philosophy (2020). *Deontological Ethics*. En ligne <https://plato.stanford.edu/entries/ethics-deontological/>, consulté le 4 février 2020

Stanford Encyclopedia of Philosophy (2020). *Consequentialism*. En ligne <https://plato.stanford.edu/entries/consequentialism/>, consulté le 4 février 2020

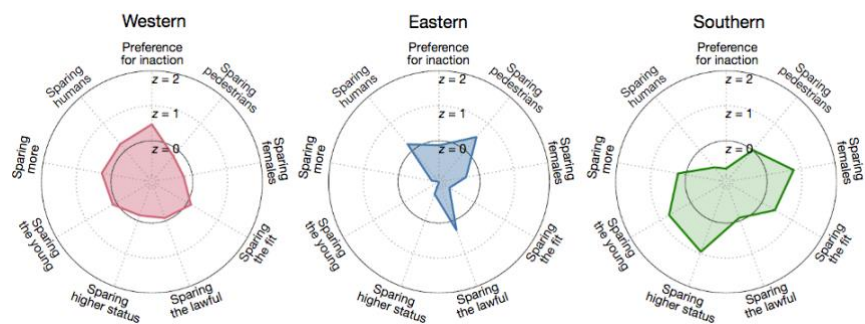
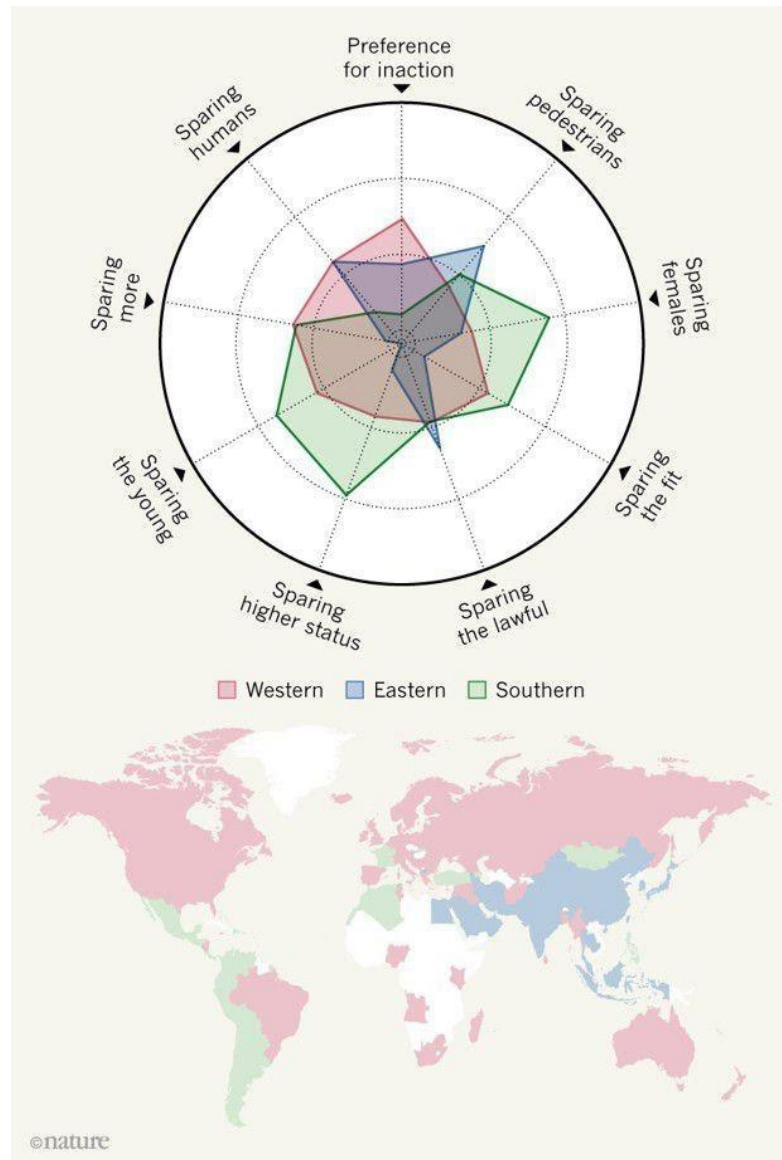
Tibken, S. (2018). *Autonomous cars won't be ever able to drive in all conditions*. C|net. En ligne <https://www.cnet.com/news/alphabet-google-waymo-ceo-john-krafcik-autonomous-cars-wont-ever-be-able-to-drive-in-all-conditions/>, consulté le 16 juin 2020

Volvo (2018). *Volvo Cars et Baidu unissent leurs forces pour développer et fabriquer des véhicules autonomes*. En ligne <https://www.media.volvocars.com/ch/fr-ch/media/pressreleases/240303/partnerschaft-von-volvo-cars-und-baidu-fur-entwicklung-autonom-fahrender-fahrzeuge>, consulté le 15 février 2020

Waymo (2020). *Waymo*. En ligne <https://waymo.com/>, consulté le 12 décembre 2020

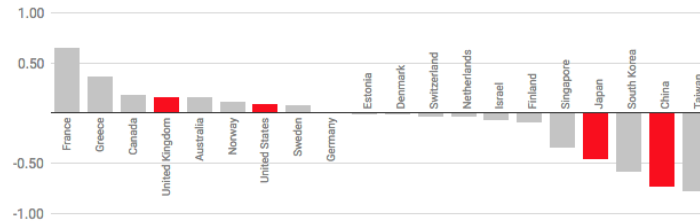
ANNEXES

Annexe 1 : Les trois groupes culturels établis par Moral Machine



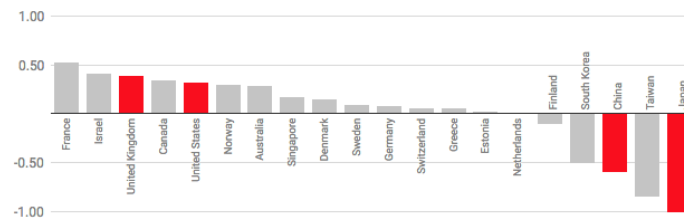
Annexe 2 : Préférences d'une culture individualiste

Countries with more individualistic cultures are more likely to spare the young



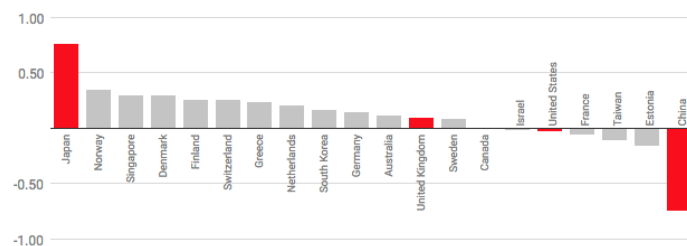
A comparison of countries piloting self-driving cars: If the bar is closer to 1, respondents placed a greater emphasis on sparing the young; if the bar is closer to -1, respondents placed a greater emphasis on sparing the old; 0 is the global average.

Countries with more individualistic cultures are more likely to spare more lives



A comparison of countries piloting self-driving cars: If the bar is closer to 1, respondents placed a greater emphasis on sparing more lives; if the bar is closer to -1, respondents placed a smaller emphasis on sparing more lives; 0 is the global average.

How countries compare in sparing pedestrians over passengers



If the bar is closer to 1, respondents placed a greater emphasis on sparing pedestrians; if the bar is closer to -1, respondents placed a greater emphasis on sparing passengers; 0 is the global average.

