

Projet de Physique P6
STPI/P6/2024 – 04

Véhicule Autonome et Connecté



Étudiants :

Romane Ledru

Celia Glinel

Hamza Fadili

Natan Massot

Nathan Gros

Enseignant-responsable du projet :

Abdelaziz Benshair

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **15/06/2024**

Référence du projet : **STPI/P6/2024 – 04**

Intitulé du projet : **Véhicule autonome et Connecté**

Type de projet : **Biblio/État de l'art**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

L'objectif de ce projet est tout d'abord d'élargir nos connaissances sur les véhicules autonomes. En effet, c'est un sujet en plein essor aujourd'hui, quand on sait que de plus en plus de véhicules autonomes circulent sur nos routes. Notre objectif est donc dans un second temps, de sensibiliser sur cette nouvelle technologie qui arrive à grands pas. Notre analyse s'articule sur deux grands points, l'éthique, quant aux décisions que peut prendre l'intelligence artificielle, et l'impact que cette technologie pourrait avoir sur notre technologie actuelle.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : **Véhicule autonome, Fonctionnement, Éthique, Impacte.**

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCTION : | 5 |
| 1.1. ÉTAT DE L'ART | 5 |
| 2. PERCEPTION ET PRISE DE DÉCISION | 8 |
| 2.1. CAPTEURS..... | 8 |
| 2.2. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE | 10 |
| 2.3. EXEMPLE DE VOITURE AUTONOME ET CONNECTEE : TESLA..... | 11 |
| 3. CONNECTIVITE ET SYSTEMES DE COMMUNICATION | 12 |
| 3.1. EXPLORATION DES PROTOCOLES DE COMMUNICATION | 12 |
| 3.2. SECURITE DES COMMUNICATIONS | 13 |
| 4. ANALYSE DES REGLEMENTATIONS ACTUELLES CONCERNANT LES VOITURES AUTONOMES | 15 |
| 4.1. SECURITE - FIABILITE | 15 |
| 4.2. ÉTHIQUE | 16 |
| 5. ANALYSE DES MODELES ECONOMIQUES EMERGENTS LIES AUX VOITURES AUTONOMES : | 18 |
| 5.1. ANALYSE DES MODELES ECONOMIQUES EMERGENTS LIES AUX VOITURES AUTONOMES : | 18 |
| 5.2. ÉTUDE DES IMPACTS POTENTIELS SUR L'INDUSTRIE AUTOMOBILE TRADITIONNELLE. | 19 |
| 5.3. ÉTUDE DES ATTITUDES DU PUBLIC ENVERS LES VOITURES AUTONOMES ET CONNECTEES..... | 19 |
| 5.3.1. <i>Hausse de la productivité</i> | 20 |
| 5.3.2. <i>Augmentation de la liberté et de l'autonomie</i> | 20 |
| 6. CONCLUSION ET PERSPECTIVE | 22 |
| 8. RAPPORT D'ETONNEMENT | 23 |
| 9. BIBLIOGRAPHIE | 25 |
| 10. ANNEXE | 28 |

1. INTRODUCTION :

Le sujet traité dans ce rapport est celui des voitures autonomes et connectées. Mais qu'appelle-t-on une voiture autonome ? Théoriquement il s'agit d'une voiture qui peut fonctionner seule, sans conducteur. Technologiquement, c'est quelque chose d'extrêmement complexe.

C'est pour cela que l'on a séparé les caractéristiques de l'autonomie en 6 niveaux, le niveau 0 correspondant à une absence totale d'autonomie. Le premier niveau correspond à une simple assistance à la conduite, notamment par des outils tels que le régulateur de vitesse, le freinage d'urgence ou encore l'alerte de dépassement des lignes de marquage de la route. L'utilisateur reste en charge de la plus grande part de la conduite. Le second niveau permet à la voiture de gérer seule la vitesse ainsi que la direction. L'utilisateur fait office de superviseur et doit surveiller constamment la route comme lorsqu'il conduit de manière à pouvoir reprendre le volant au moindre incident. Ce niveau permet seulement d'enlever les mains du volant dans certaines situations. Au niveau trois la voiture roule de façon autonome sur certains types de route (comme les autoroutes) et dans certaines situations et signale elle-même au conducteur les situations lui demandant de reprendre le contrôle. Il s'agit du dernier type actuellement industrialisé. Le niveau quatre est le niveau actuellement en développement dans ainsi, il y a beaucoup de recherche en cours ainsi que des prototypes (qui fonctionnent déjà) et qui sont en constant perfectionnement. Ce niveau correspond à une indépendance presque totale de la voiture vis à vis du conducteur. Elle peut rouler sans intervention humaine, en respectant toutefois certaines contraintes telles que le type de route ou des conditions météorologiques favorables. Finalement, le niveau cinq correspond à la totale indépendance de la voiture, indépendamment du type de route. Il s'agit du Graal des constructeurs de voitures autonomes.

1.1. État de l'art

Actuellement les voitures de niveau 2 sont courantes et celles de niveau 3 sont maintenant produites de manière industrielle notamment par Honda (au Japon) premier constructeur à commercialiser un système de conduite autonome de niveau 3 au Japon en 2021, Mercedes en Allemagne la même année puis au Nevada et en Californie en 2023 et enfin BMW en Allemagne qui devrait les rejoindre cette année.

Les voitures de niveau 4 font encore leur début et sont surtout développées par des entreprises et dans le cadre de concours tel que Indy. Elles commencent également à circuler aux États-Unis et au Japon notamment bien que dans des zones très restreintes. Voyons un historique de quelques découvertes qui ont conduit les voitures vers plus d'autonomie.

- La boîte automatique :

En 1925, Gaston Fleischel après avoir inventé le changement de vitesses pour une moto, adapte une boîte automatique sur une Citroën B14 : la première voiture automatique au monde.

- Le régulateur de vitesse :

En 1935, Ralph Teetor, aveugle après un accident, a l'intuition d'un appareil pour stabiliser la vitesse. En 1945, cet ingénieur mécanicien américain dépose le brevet du régulateur. La Chrysler Imperial est la première voiture à en être équipée en série en 1958, elle est suivie en 1960 par la gamme Cadillac.

- GPS :

Déjà popularisé, le GPS, le plus connu des systèmes de navigation, devient accessible sur les routes vers le début des années 2000. Cela accélère l'évolution des voitures autonomes.

- Calculateur :

Cette technologie est apparue entre les années 1996 et 2000, après la fin des moteurs carburateurs. Le calculateur automobile est devenu indispensable, poussé par le développement des nouvelles technologies. En effet, il gère le pilotage et le contrôle des fonctions de son moteur. C'est l'apparition de l'électronique dans les véhicules qui a fait naître le calculateur moteur. Les constructeurs voulaient en effet mettre en place des techniques d'optimisation, pour éviter aux automobilistes de consommer trop de carburant, mais aussi pour respecter les normes de pollution. Les calculateurs sont maintenant présents partout dans les véhicules, cela peut aller de la climatisation aux airbags, en passant par les systèmes de freinage et de suspensions. Ils collectent des informations et gèrent les performances.

- Diagnostics embarqués :

Il se trouve que les calculateurs peuvent communiquer à la fois entre eux, mais également avec un outil de diagnostic, par le biais de la prise de diagnostic du véhicule (16 voies), qui se trouve généralement sous le volant. Cet outil est composé d'une interface de communication et d'un logiciel. Ainsi, les communications transmises par les calculateurs sont traduites par la première et traitées par le second. Enfin, les éventuelles défaillances sont remontées au conducteur de manière compréhensible pour lui. La prise 16 voies servant de base à cette communication a été progressivement imposée entre 2001 et 2007.

Mais avec toute cette innovation viennent plusieurs enjeux.

En effet, la technologie ne cesse de progresser, permettant aux usagers d'être de plus en plus assistés par différents accessoires lors de leur conduite. Cependant, l'évolution vers des voitures de plus en plus autonomes est intrinsèquement liée à un certain nombre d'enjeux. Le premier d'entre eux est technologique. Le Graal technique que représente le niveau cinq pousse les constructeurs à se dépasser. De nombreux ingénieurs, étudiants, doctorants, grosses entreprises et petites start-ups se mobilisent pour faire progresser le domaine, innover dedans et relever les défis successifs qu'il présente.

Un second enjeu des voitures autonomes consiste à les faire entrer dans les mœurs. Celui-ci reste néanmoins mineur au regard du souci éthique et moral dont il découle. En effet, une voiture parfaitement autonome doit prendre des décisions "elle-même" face aux situations qu'elle

rencontre, quelles qu'elles soient. Or, dans une situation impossible, où aucune solution parfaite n'est possible, quelle réaction devons-nous programmer ? Ce genre de cas de figure représente un frein important pour les concepteurs de voitures autonomes. Avec cela vient également le problème de la responsabilité. Un accident est-il de la faute du conducteur qui ne regardait pas la route, de la voiture qui n'a pas correctement réagi (difficile pourtant d'accuser une machine), ou bien du concepteur. Pour l'heure, en cas d'accident créé par une voiture autonome de niveau trois n'ayant pas bien rempli ses fonctions, la troisième option est privilégiée. Toutefois, la responsabilité est principalement l'apanage du juridique, qui est également poussé à évoluer vis à vis de l'automobile. En effet, de nouvelles technologies sur nos moyens de locomotion impliquent de nouvelles lois pour les réguler. C'est pourquoi les gouvernements Européens, Américains et Asiatiques commencent à mettre en place des lois pour permettre l'utilisation de ses nouveaux véhicules tout en leur imposant des restrictions afin de minimiser le risque d'accident. En France, l'usage de voiture autonome de niveau trois est maintenant autorisé si les trois conditions suivantes sont respectées :

- Vitesse à 60 km/h maximum
- Conduite sur route à chaussée séparée (c'est-à-dire avec terre-plein central)
- Conduite sur route sans bande ou piste cyclable ni passage piéton

Finalement, le dernier enjeu fondamental est de voir ce qu'apporte la voiture autonome. Bien que gourmande en énergie et donc ayant un impact environnemental important, les véhicules autonomes ont pour vocation de nous permettre de voyager de manière plus sûre, plus confortable et de consacrer nos temps de trajets à d'autres activités que de surveiller la route. Également, le défi technologique que représente l'avancée dans ce domaine permet à nos compétences de se développer par ce biais. Il s'agit d'un des plus grands défis que l'humanité avide de progression s'est lancée.

2. PERCEPTION ET PRISE DE DÉCISION

2.1. Capteurs

Le phénomène de perception de l'environnement par la voiture autonome est assuré par quatre grandes familles de capteurs : les caméras, les lidars, les radars et les sonars.

2.1.1 Les caméras

Les caméras, positionnées sur chaque côté du véhicule et/ou au niveau du pare-brise offrent une vision à 360° et permettent, après traitement par un logiciel des images récoltées, de détecter les lignes et les bandes de la route et permettre ainsi à la voiture de se maintenir au centre de sa voie de circulation. La forme, la couleur et les inscriptions des panneaux sont également identifiées et lues, de même que les feux rouges, les autres voitures et leurs clignotants, les deux roues, les piétons ou encore les animaux afin d'adapter le comportement du véhicule.

Actuellement différents types de caméras sont utilisés sur la voiture, chacun servant un objectif propre. Deux caméras sont positionnées à l'avant de la voiture, une principale surnommée "l'œil" du véhicule et une longue distance généralement activée à grande vitesse, permettant d'analyser ce qui se passe devant le véhicule. De manière semblable nous trouvons une caméra arrière, très exploitée lors de manœuvres de parking. La lecture des feux de signalisation et des objets avoisinants n'est rendue possible qu'avec l'usage d'une caméra grand angle. L'objectif des caméras latérales est de surveiller l'entrée des voitures dans la voie de circulation ainsi que les angles morts lors de changement de voie (*voir figure 2 Annexe*).

De nombreux avantages résident dans ces technologies. Tout d'abord certaines caméras ont une vision 3D stéréoscopique, percevant ainsi les distances et les profondeurs à l'instar des yeux humains. De plus, cette technologie est "passive" et ne crée donc pas d'interférences avec les communications d'autres capteurs ou véhicules. Cependant, bien que les caméras soient plus efficaces que nos yeux, elles ne sont pas infaillibles. La perception des distances notamment est un point qui montre encore des lacunes : la vision stéréoscopique apprécie seulement les distances sur des objets proches possédant beaucoup de texture. Les analyses des images de routes lisses par exemple, qui sont des surfaces uniformes, ne sont pas concluantes pour le calcul de distance. Les capacités des caméras sont aussi étouffées par une mauvaise météo, ou un obstacle obstruant le champ de vision. Enfin leur portée est de 50 à 100 mètres en moyenne [8][9][10].

2.1.2 Les lidars

Les véhicules autonomes sont également assistés par des "Light Detection And Ranging", communément connus sous l'acronyme LIDAR. Ils permettent d'estimer des distances grâce au temps de trajet des ondes lumineuses qui sont envoyées par impulsion depuis la voiture, puis réfléchies par un obstacle avant d'être captées par l'émetteur du capteur. Ainsi le logiciel peut analyser l'environnement qui entoure le véhicule. Le domaine d'ondes de ces faisceaux est variable, de l'ultraviolet, de l'infrarouge ou encore du visible. Cette technologie de télédétection par laser permet de détecter des objets sur une distance allant jusqu'à une centaine de mètres devenant ainsi le capteur à la plus longue portée.

Le LIDAR est constitué d'un émetteur laser fonctionnant avec un récepteur qui analyse l'onde qu'il reçoit après réflexion. Un photodétecteur permet au lidar de transformer l'information en signal électrique qui sera ensuite analysé puis acheminé au système central dans un objectif de prise de décision. Le dernier organe du LIDAR est un filtre qui sert à limiter l'influence des ondes lumineuses extérieures en ne laissant passer que les longueurs d'ondes proches de celles du faisceau envoyé par l'émetteur. L'efficacité de cette technologie réside principalement dans sa bonne estimation de la distance, qui est de l'ordre du centimètre. Son efficacité peut aussi être utilisée pour approcher les volumes et les tailles des objets. Nous pouvons également noter qu'il peut être utilisé de jour comme de nuit et ne possède pas d'angles morts. Cependant, à l'instar de la caméra, les conditions météo peuvent l'affaiblir : un environnement trop lumineux baisse la fiabilité du lidar [11][12][13].

Finalement les informations obtenues par les LIDARs valident celle des caméras et/ou les complètent : on appelle ce phénomène de la redondance d'informations.

Suite à un accident où la voiture n'avait pas bien reconnu un cycliste, certains fournisseurs ont décidé d'associer aux caméras et lidars une caméra infrarouge réglée sur une température de 37°C (température moyenne du corps humain). Une étude, présentée au SIA VISION 2018, le salon international de l'automobile, a alors montré que cela avait permis d'augmenter l'efficacité de détection des piétons de 11%. En effet, la voiture va superposer les deux images (l'une de la caméra et l'autre infrarouge) et va se servir de la redondance de données afin de fournir des informations plus fiables. Voici un exemple de l'utilité de la redondance d'informations[14] : (*voir figure 3*)

2.1.3 Les radars

Un radar (qui est l'acronyme de RAdio Detection And Ranging) est un capteur qui, par utilisation d'ondes électromagnétiques, détermine la distance séparant le véhicule d'un obstacle. L'objectif est de renforcer et de confirmer les informations obtenues par les lidars. Les radars ont une portée bien plus limitée que ces derniers, et seront donc principalement utilisés sur les lieux de stationnement par de la détection des objets proches. Une onde électromagnétique est émise par le capteur du radar. A la rencontre d'un objet, l'onde est réfléchiée en partie sur le radar et réfractée. Le radar capte le retour de l'onde électromagnétique et en déduit donc l'existence d'un objet. Cette étape de détection est associée à une étape de calcul : la connaissance de la vitesse et de la fréquence de l'onde permet d'en déduire la distance séparant la voiture de l'obstacle en utilisant l'effet Doppler. Ce phénomène correspond au décalage de fréquence d'une onde entre les mesures prises à l'émission et à la réception, lorsque la distance séparant le radar (émetteur) et l'obstacle (récepteur) varie au cours du temps.

Ce capteur a pour avantage de bien résister aux différentes températures, car son fonctionnement repose sur la réflexion optique. De même, il n'est affecté par aucunes conditions météorologiques. Cependant, bien qu'utile pour détecter les obstacles, le radar n'a pas la capacité de les identifier. De plus, la réflexion des ondes électromagnétiques se fait suite à tout changement des constantes diélectriques du milieu traversé, changement très difficile à détecter pour des matériaux à faible constante diélectrique. Le radar aura donc tendance à les ignorer [15][16].

2.1.4 Les sonars

Un sonar, ou télémètre acoustique, mesure des distances en émettant des ondes sonores. Il fonctionne à l'instar d'un lidar ou d'un radar et calcule la distance séparant le véhicule de

l'obstacle. L'émetteur envoie une onde inaudible par les humains qui, après réflexion, est reçue par le récepteur qui convertit les ondes sonores en électriques permettant ainsi l'affichage d'une image sur écran. Le sonar envoie des ondes en continu de manière à obtenir une image précise en temps réel. Les avantages de ce capteur résident dans sa capacité à détecter les objets de toutes formes et couleurs ainsi que son fonctionnement dans toutes les conditions. En effet les ondes sonores se déplacent aussi bien dans l'air que dans le brouillard, ou encore un milieu chargé en poussière. Cependant leur portée n'excède pas les deux mètres, et sont donc principalement limités à l'aide au stationnement [17][18][19].

Pour finir, ces capteurs sont associés à un positionnement par satellite qui permet à la voiture de se diriger et d'établir son itinéraire au mieux. En effet, en comparant régulièrement les infos recueillies par les capteurs avec des cartes routières préétablies, le véhicule est capable de se localiser à quelques centimètres près (*voir figure 4*).

Les infos brutes enregistrées par tous les capteurs sont alors acheminées en temps réel vers l'intelligence artificielle qui va analyser, regrouper et donner un sens aux données afin de prendre des décisions relatives au déplacement de la voiture.

2.2. Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle permet de construire une carte 3D représentant tout ce qui l'entoure, et ainsi permettre de prendre les meilleures décisions. Ce "cerveau" nécessite une puissance de calcul importante car la quantité de données collectées par les capteurs est énorme et envoyée en continu. Les caméras par exemple fournissent une trentaine d'images par seconde (30fps), elles-mêmes comportant des milliers de pixels colorés. L'intelligence artificielle doit analyser toutes ces informations, et déterminer la présence d'une voiture, d'un panneau.... Le challenge pour ce cerveau est de traiter les données de tous les capteurs en un quart de seconde afin de prendre des décisions vitales pour la voiture et ses passagers.

La fusion et l'analyse des informations récoltées ne se fait pas à l'aide d'un algorithme pré-enregistré. L'intelligence artificielle a, au préalable, subi une phase d'apprentissage pour pouvoir analyser son environnement de façon correcte. Ainsi, nous lui avons appris à reconnaître un visage, un vélo ou encore à comprendre un panneau de signalisation. Il a également mémorisé de nombreux scénarios tels que l'arrêt soudain d'une voiture ou un animal traversant la route afin d'adapter sa réponse aux circonstances. C'est ce que l'on appelle le deep learning.

Le deep learning (ou apprentissage profond) est donc un sous-ensemble de l'apprentissage automatique qui relève du domaine de l'intelligence artificielle. Le principe est simple, nous montrons au modèle informatique plusieurs images de différents objets en l'informant de ce que ces images représentent (un vélo, une voiture, un humain...). Puis, avec de l'entraînement, l'intelligence artificielle apprend à reconnaître seule ces objets sur de nouvelles images. Avec le temps, elle apprend à reconnaître les panneaux et les situations. Ainsi les logiciels informatiques "apprennent" en analysant les informations fournies et peuvent ainsi déterminer les événements les plus susceptibles de se produire. Cette technologie n'est rendue possible qu'avec la création des réseaux neuronaux. Un réseau neuronal d'IA est fait de multiples couches de nœuds interconnectés facilitant le décodage et le partage des informations. Un neurone est une fonction mathématique qui prend des informations en entrée, les convertit en une forme plus compréhensible et acceptable et les recrache en sortie pour un autre neurone de la couche

suivante. les algorithmes de deep learning prennent en entrée des données désordonnées et largement non étiquetées comme des images, des vidéos... ils doivent alors trier et analyser pour faire des prédictions claires et utiles. La taille et la forme de chaque voiture, personnes, vélos, animaux... peuvent varier et c'est pour faire face à la variabilité de ces caractéristiques ainsi qu'à la désorganisation des interactions entre elles que nous utilisons la technologie du deep learning et de ces réseaux neuronaux profonds [20][21][22][23][24][25][26].

Pour conclure, le fonctionnement de la voiture connectée et autonome peut être résumé par les quatre étapes suivantes : la perception et la récupération des informations, l'analyse de ces données, la prise de décision et l'activation (ou la désactivation) de certaines commandes (par exemple accélérer, tourner, freiner...) [1][2][3][4][5][6][7].

2.3. Exemple de voiture autonome et connectée : TESLA

L'Autopilote Tesla comprend d'importants réseaux neuronaux : 48 réseaux nécessitant un entraînement de 70 000 heures de calculs graphiques. L'entreprise automobile a également fait le choix de n'utiliser que des caméras très performantes pour assurer la vision de l'Autopilot et n'équipe donc plus ses voitures ni de LIDARs ni de radars. Actuellement trois modes de connectivité sont proposés par les voitures d'Elon Musk : l'autopilot, l'autopilot amélioré et la capacité de conduite entièrement autonome.

La Tesla la plus autonome propose un régulateur de vitesse dynamique, une assistance au maintien de cap, mais également le changement de voie automatique (lorsque le conducteur active un clignotant), le parking et la sortie automatique d'une place de stationnement ainsi que la possibilité de venir chercher le conducteur lorsque celui-ci est à proximité. La conduite autonome détecte les feux de signalisation et les panneaux stop et arrête ainsi la voiture. La conduite automatisée en ville n'est pas encore atteinte par l'entreprise et celle sur l'autoroute exige une vigilance active du conducteur. Récemment, une nouvelle mise à jour, le full self driving bêta v12.3, a été proposée à des milliers de conducteurs américains. Sa grande nouveauté réside dans la gestion des commandes de la voiture en conduite ville-rue, qui sont désormais gérées par les réseaux neuronaux et non plus codées par les ingénieurs informaticiens. Ainsi plus de 300 000 lignes de code ont été supprimées. Voici un exemple d'analyse de l'environnement via les caméras des systèmes neuronaux [27][28][29]. (voir figure 5).

Bien que les retours soient, pour l'instant, positifs, cette mise à jour nécessite des homologations réglementaires, dont l'obtention requiert du temps dans certains pays comme le nôtre.

3. CONNECTIVITE ET SYSTEMES DE COMMUNICATION

3.1. Exploration des Protocoles de Communication

Dans cette partie, nous approfondirons les protocoles de communication utilisés dans les voitures connectées, en mettant notamment l'accent sur la connectivité V2X, et en particulier sur les implications significatives de la connectivité V2V et V2I faisant partie de la technologie V2X.

V2V désigne une technologie intelligente qui permet l'échange de données d'un véhicule à l'autre. Son but est de contribuer à la réduction des embouteillages et des cas d'accidents. Pour ce faire, elle utilise des communications dédiées à courte portée (300 mètres) qui permettent aux véhicules connectés d'accéder aux informations des autres véhicules environnants équipés eux aussi de la technologie V2V. Ces informations peuvent comprendre la vitesse et la position des véhicules proches pour ensuite alerter les conducteurs de potentiels dangers de terrain et les alertes météorologiques.

La technologie V2I permet de communiquer les données concernant les embouteillages, les avis météorologiques ou bien la hauteur de passage sous les ponts. Ces données transmises sans fil alertent les conducteurs des dangers se trouvant aux alentours et contribuent à améliorer la sécurité. La technologie V2I alimente la signalétique intelligente, aidant ainsi les conducteurs à évaluer les conditions de circulation. Il en résulte des ETA (Heures prévues d'arrivée) plus précises et une meilleure communication entre les conducteurs et les clients.

La technologie V2X présente des implications significatives pour la sécurité routière et l'efficacité du trafic. Elle vise essentiellement à rendre chaque voiture sur la route plus intelligente en lui donnant le pouvoir de « communiquer » avec le système de circulation, y compris les autres voitures et infrastructures connectées.

En permettant un échange d'informations en temps réel sur les conditions de conduite, la connectivité V2X contribue à réduire les risques d'accidents en alertant les conducteurs des situations dangereuses. Grâce à la communication avec l'infrastructure routière et d'autres véhicules, les conducteurs peuvent obtenir des informations essentielles sur les conditions de circulation et les itinéraires alternatifs, réduisant ainsi les embouteillages et optimisant les temps de trajet. V2X automatise également le paiement des péages et des parkings, ce qui facilite la conduite.

Bien que V2V, V2I retiennent toute l'attention en matière de technologie de véhicules connectés, d'autres innovations faisant partie de la technologie V2X sont également utilisées et développées.

Véhicule à Réseau (V2N) : cette technologie permet la communication de véhicule à véhicule à partir de réseaux téléphoniques, tels que le LTE.

Vehicle-to-Grid (V2G) : encore en cours de développement, la technologie V2G souhaite utiliser les batteries des véhicules électriques comme source d'énergie dans un réseau électrique. Cette utilisation permettrait de répondre aux fortes demandes en temps réel.

Brain to Vehicle (B2V) : introduite par Nissan, cette technologie consiste à connecter le cerveau d'un conducteur à son véhicule. Elle n'est pas exploitée actuellement mais elle pourrait changer radicalement l'avenir de la conduite et de la sécurité routière.

Peloton : en théorie, le peloton routier est une technique qui devrait permettre de connecter deux camions, voire plus, entre eux dans un convoi afin de réduire la consommation de carburant et les émissions de Co2. Des systèmes de freinage automatique seraient alors mis en place pour améliorer la sécurité et accroître les performances.

Véhicule à Piéton (V2P) : cette connexion vise à réduire les collisions impliquant des piétons, cyclistes et personnes à mobilité réduite. Elle permet une communication unilatérale ou bilatérale entre les véhicules et les piétons via des applications mobiles. Selon le USDOT, son adoption pourrait diminuer de 46 % les accidents impliquant des piétons, améliorant ainsi la sécurité routière [39][40][41] (voir figure 6).

3.2. Sécurité des communications

Alors que les voitures autonomes et connectées deviennent de plus en plus performantes, la sécurité des communications se révèle cruciale pour prévenir les cyberattaques et protéger les données sensibles des usagers.

La CNIL s'attelle à élaborer le "Pack de conformité des véhicules connectés" afin de garantir la sécurité des utilisateurs. Les voitures connectées, évoluant vers des ordinateurs sur roues, proposent une multitude de services grâce à leurs systèmes sophistiqués d'information, de navigation et de connectivité. Cependant, cette avancée s'accompagne d'une vulnérabilité considérable. Les chercheurs en sécurité ont prouvé à maintes reprises que les voitures connectées peuvent être des cibles pour les cyberattaques, exposant ainsi les conducteurs à des risques majeurs, comme cela sera montré dans le rapport d'étonnement.

La principale faille réside dans la sécurité insuffisante des systèmes informatiques embarqués, avec de nombreux constructeurs ne priorisant pas leur sécurisation. Cela ouvre la voie à des piratages pouvant donner le contrôle total du véhicule à distance, avec des conséquences potentiellement graves, allant de la désactivation des fonctions de sécurité à la manipulation de la direction et de la vitesse.

En outre, les voitures connectées sont exposées à des menaces courantes en matière de sécurité informatique, telles que les attaques par déni de service (DDoS) et les intrusions dans les réseaux Wi-Fi embarqués. L'interconnexion des divers composants des véhicules les rend également plus vulnérables à des attaques sophistiquées, comme l'attaque Spectre, qui a démontré la vulnérabilité des données stockées dans les systèmes de divertissement des voitures.

Mais au-delà des problèmes de sécurité, les voitures connectées soulèvent également des questions concernant la protection des données personnelles. Les constructeurs automobiles collectent une quantité impressionnante d'informations sur les conducteurs et les passagers via des capteurs intégrés, des systèmes GPS et des connexions cellulaires. Ces données comprennent des détails sur les habitudes de conduite, les destinations et les préférences personnelles.

Les exemples d'attaques précédentes, comme celles sur les Tesla, Jeep, BMW, Mercedes-Benz, Audi et Nissan, mettent en évidence les défis de sécurité auxquels sont confrontées les voitures connectées. Tant les constructeurs automobiles que les chercheurs en sécurité travaillent sans relâche pour identifier et corriger ces failles, mais les propriétaires de voitures connectées doivent également prendre des mesures pour sécuriser leurs véhicules, telles que le maintien des logiciels à jour et l'évitement de téléchargements d'applications non sécurisées.

Face à ces défis, il est impératif de proposer des solutions visant à renforcer la sécurité numérique des voitures connectées et à protéger la confidentialité des données des conducteurs. Plusieurs avenues sont à explorer :

- Le renforcement de la sécurisation des systèmes embarqués :

Les fabricants automobiles doivent accroître leurs investissements dans la sécurisation des systèmes informatiques embarqués en utilisant des méthodes de chiffrement et en effectuant des mises à jour logicielles régulières pour combler les failles de sécurité.

- L'élaboration de réglementations plus strictes :

Les gouvernements doivent mettre en place des réglementations plus rigoureuses en matière de cybersécurité pour l'industrie automobile, en exigeant des normes minimales de sécurité et en imposant la divulgation des pratiques de collecte de données.

- Le renforcement du contrôle des données :

Les conducteurs doivent disposer d'un contrôle plus précis sur les données collectées par leurs véhicules, avec la possibilité d'accorder ou de refuser leur utilisation à des fins spécifiques.

- La transparence et responsabilité accrues :

Les fabricants automobiles doivent faire preuve de transparence quant à leur utilisation des données et assumer la responsabilité en cas de violations de données ou d'abus.

- L'adoption de technologies de sécurité :

Il est essentiel d'encourager les conducteurs à utiliser des solutions de sécurité telles que des pare-feux pour leurs voitures connectées, en plus d'outils de gestion de la confidentialité.

La sécurité informatique et la protection des données dans le domaine des voitures connectées représentent des défis majeurs pour l'industrie et les législateurs. Il est crucial de protéger la vie privée des conducteurs tout en permettant aux fabricants d'innover et de fournir des services de qualité. L'intégration de spécialistes de l'intelligence artificielle comme Luc Julia chez des constructeurs automobiles tels que Renault promet des progrès significatifs dans l'utilisation des données des véhicules connectés. Cependant, il est primordial de garantir que ces données sont utilisées de manière éthique et sécurisée, dans le respect de la vie privée des utilisateurs.

En fin de compte, les voitures connectées doivent offrir une expérience de conduite enrichissante sans compromettre la sécurité numérique ni violer la vie privée des conducteurs. La clé de cette réussite réside dans l'adoption de bonnes pratiques en matière de sécurité, une réglementation appropriée et une sensibilisation continue des consommateurs [\[42\]](#)[\[43\]](#)[\[44\]](#)[\[45\]](#)[\[46\]](#)[\[47\]](#).

4. ANALYSE DES REGLEMENTATIONS ACTUELLES CONCERNANT LES VOITURES AUTONOMES

Depuis le développement de l'automobile à l'échelle mondiale, une question est née et a pris de plus en plus d'importance au cœur des débats. C'est celle de la sécurité routière. Les gouvernements doivent élaborer des normes de sécurité strictes pour les voitures autonomes, couvrant des aspects tels que la fiabilité des capteurs, la réactivité aux situations d'urgence et la capacité à détecter les piétons et les cyclistes dans toute condition climatique imaginable.

C'est le 8 novembre 1968, qu'est signée la convention de Vienne sur la sécurité routière. Cette convention a pour but d'établir des règles de circulation partagées au niveau mondial pour faciliter la circulation internationale et pour améliorer la sécurité routière. Toutefois, avec l'arrivée des voitures et camions autonomes, cette convention voit ses limites atteintes mais chaque pays ne fixe pas toujours les mêmes pour autant [30].

Au sein des pays de l'Union européenne, l'article 34-Bis de la convention de Vienne, a été modifiée, le 14 juillet 2022, pour autoriser l'utilisation de la conduite autonome de niveau 3. En France, le décret a été publié le 22 juillet 2022. Ce texte encadre très sévèrement l'utilisation des voitures autonomes, cette fonction peut être utilisée uniquement sur les voies sans piétons ni cyclistes ou en limitant le contrôle automatisé de la direction, de l'accélérateur ou des freins à 60 km/h [31].

Au sein des Etats-Unis d'Amérique, les lois sont plus laxistes. Désormais, en mars 2022, les constructeurs de véhicules automatisés ne sont plus dans l'obligation d'équiper les véhicules autonomes d'un volant et de pédales pour être homologuée. Mais cette avancée législative n'est pas sans compromis. Ces constructeurs voulant proposer cette technologie devront permettre à un conducteur humain de reprendre le contrôle à tout moment afin d'assurer la sécurité du véhicule en cas de défaillance du système embarqué [32].

C'est ainsi que vient s'imposer une question au cœur de toutes les réflexions autour de la réglementation des voitures autonomes, celle de la fiabilité et la capacité à ne pas, voir jamais faire d'erreur.

4.1. Sécurité - fiabilité

Commençons par définir la fiabilité. Selon le dictionnaire Larousse, la fiabilité c'est la probabilité pour qu'une pièce primaire, un dispositif ou un équipement complet soit utilisé sans défaillance pendant une période de temps déterminée, dans des conditions opérationnelles spécifiées.[33]

D'après cette définition, nous nous rendons rapidement compte qu'il est difficile de garantir une fiabilité de 100%, voire même que cela est impossible car il y a une infinité de situations possibles. Toutefois, l'objectif est d'au moins s'en rapprocher.

Comme dit précédemment, la voiture autonome c'est surtout une foule de capteurs, comme des caméras, des radars et des systèmes de détection par laser (lidar). Ensemble, ils nourrissent un algorithme (un « cerveau »), qui prend les décisions.

Avant d'être déployées sur les routes publiques, les voitures autonomes doivent faire l'objet de tests rigoureux dans des environnements simulés et réels pour évaluer leur sécurité et leur fiabilité. C'est ainsi que son niveau d'autonomie est établi. Les essais doivent englober une variété de scénarios de conduite et de conditions routières pour garantir que le véhicule peut fonctionner de manière sûre dans diverses situations.

Pour l'instant, les environnements relativement simples et prévisibles permettent à nos véhicules autonomes d'avoir un taux de succès et de fiabilité assez bon [34].

Toutefois, dans des conditions plus rudes telles que celles hivernales où la neige obstrue partiellement les capteurs, ou la signalisation au sol ou bien lorsque que l'orage fait rage, la pluie peut faire diminuer la visibilité et modifie la luminosité (éclaircies / gros nuages), le taux d'erreur monte alors en flèche ce qui va à l'encontre de l'objectif d'une fiabilité optimale.

En plus de faire des erreurs sur des situations particulières, l'intelligence artificielle atteint inévitablement ses limites : il est impossible de penser qu'on puisse l'entraîner avec suffisamment d'exemples pour prévoir tous les scénarios de conduite possibles et imaginables, de manière à atteindre un taux de détection de 100%. Donc dans l'hypothèse où nos voitures ne commettent plus d'erreur sur les différents tests de validation, il restera un doute sur l'existence éventuelle d'une situation qui mettrait en échec les voitures.

De cette incapacité, à garantir la sécurité à 100%, vient une question éthique. Car oui, l'humain n'est pas infailible. La question la voici : même si les statistiques étaient à l'avantage des robots, laisseriez-vous un robot conduire à votre place sachant qu'il existe une probabilité que ce robot commette un accident ? De plus, lors de l'accident, si un piéton est blessé ou tué par une intelligence artificielle, cela engendrera davantage de protestations que s'il avait été renversé par un conducteur humain et qui est responsable dans ce genre de situation [35].

On s'aperçoit ici que les voitures autonomes ne sont pas seulement un défi technique mais aussi un défi juridique sur de nombreux points.

4.2. Éthique

Maintenant, imaginons que les voitures sont totalement autonomes. Pour autant, la course à la voiture intelligente n'est pas encore gagnée. En effet, de nombreux défis sont encore à surmonter sur le point juridique et éthique.

Tout d'abord, la responsabilité en cas d'accident devient plus complexe à déterminer, en particulier si le conducteur humain n'a pas contrôlé le véhicule au moment de l'incident, d'autant plus si cela implique un décès. Qui pourrait être tenu pour responsable ? Le propriétaire de la voiture ? Le vendeur du système de conduite autonome ? Ce n'est qu'une partie des questions juridiques et réglementaires qu'il reste à élucider, et qui pourraient contribuer à rebuter les fabricants.

En 2020, le directeur du Laboratoire sur l'intelligence véhiculaire de l'Université de Sherbrooke, Denis Gingras, avançait qu'on ne verrait pas de voitures sans conducteurs sur les routes avant « 30 ou 40 ans ».

Et qu'en est-il si un pirate informatique perturbe le système ? Dans ces conditions, une voiture autonome pourrait être utilisée comme une arme, cela pose donc des problèmes de santé publique. Toutefois, ce problème n'est pas uniquement lié à la voiture autonome mais plus généralement aux voitures assistées informatiquement.

La prise de décision est aussi sujet à réflexion, dans la situation d'un accident inévitable les voitures autonomes doivent parfois prendre des décisions éthiquement complexes, comme choisir entre sauver la vie du conducteur ou celle des piétons. Des normes éthiques doivent être établies pour guider la programmation de ces choix, en tenant compte des valeurs sociales et culturelles. Le problème avec ce choix à faire est qu'il n'existe pas de consensus mondial sur la meilleure façon de résoudre ces dilemmes, avec des différences culturelles et socio-économiques influençant les préférences éthiques des individus et des populations.

Ces préférences éthiques varient selon plusieurs facteurs :

Premièrement, selon la variabilité culturelle, les attitudes éthiques des individus varient selon leur pays d'origine, leurs traditions culturelles et leur niveau de richesse économique.

Deuxièmement, cela varie en fonction de la corrélation socio-économique : Il existe des corrélations entre les indicateurs socio-économiques d'un pays et les opinions éthiques de ses habitants. Les participants originaires de pays où les inégalités économiques sont plus importantes ont tendance à prendre des décisions moralement différentes de celles des pays où les disparités sont moindres.

Pour finir, la politique et les normes sociales jouent aussi un rôle dans les choix éthiques d'une population par exemple, les pays où les inégalités de revenus sont plus faibles peuvent avoir des politiques favorisant l'égalitarisme, ce qui se traduit par des choix moraux différents dans une situation opposée.

Les constructeurs automobiles et les législateurs doivent donc tenir compte de ces différences culturelles et socio-économiques lors du développement de véhicules autonomes et de l'élaboration de politiques réglementaires. Il est essentiel de trouver un consensus social sur les risques acceptables que la société est prête à prendre avec ces technologies émergentes et qu'elles bénéficient à la société dans son ensemble [36].

En résumé, les voitures autonomes soulèvent des questions complexes qui nécessitent une approche réglementaire et éthique réfléchie. Les gouvernements, les entreprises et la société dans son ensemble doivent collaborer pour garantir que ces technologies soient déployées de manière responsable et bénéfique pour tous.

5. ANALYSE DES MODELES ECONOMIQUES EMERGENTS LIES AUX VOITURES AUTONOMES :

Les voitures autonomes représentent une révolution potentielle dans l'industrie automobile et ont le potentiel de transformer profondément les modèles économiques existants. Les réseaux de transport routier comme les trajets quotidiens pourraient se réinventer. En effet, la technologie d'aujourd'hui permet déjà de créer des voitures 100% autonomes, mais le dernier rempart face à cette nouveauté est l'avis réticent des futurs utilisateurs. Dans cette partie nous allons tout d'abord aborder quels seront les potentiels nouveaux modèles économiques qui pourront émerger grâce à cette technologie. Ensuite nous étudierons les impacts sur l'industrie automobile actuelle. Enfin, nous regarderons l'attitude du public ainsi que son avis sur les voitures autonomes.

5.1. Analyse des modèles économiques émergents liés aux voitures autonomes :

Dans un premier temps, l'arrivée des voitures autonomes impactera inévitablement le quotidien des utilisateurs de voitures "classiques". En effet, cette nouvelle technologie pourra à terme, remplacer tous les métiers des transports en commun actuels. En remplaçant les chauffeurs de bus et taxi par des véhicules autonomes, c'est tout d'abord un service 24 heures sur 24 qui pourra être proposé, et surtout un prix beaucoup plus abordable pour les utilisateurs. En divisant le prix d'une course par dix, acheter une voiture va devenir beaucoup moins rentable que de prendre le taxi. En effet, le coût moyen d'une voiture en France est entre 12 et 17€ par jour. C'est pourquoi les entreprises comme Uber et Lyft investissent massivement dans le développement de ces technologies pour réduire les coûts liés à la main-d'œuvre et améliorer l'efficacité opérationnelle. Avec l'arrivée de ce nouveau mode de transport, de nouveaux modèles commencent déjà à être envisagés, comme un abonnement où les utilisateurs paient un tarif mensuel fixe pour un certain nombre de trajets en voiture autonome. Les vendeurs automobiles vont aussi devoir s'adapter en laissant les particuliers pour vendre aux professionnelles massivement. Ce modèle apporte plusieurs points positifs, comme nous l'avons dit un accès au transport à prix réduit, mais aussi un accès pour les personnes sans permis ou ne pouvant pas conduire comme les personnes âgées. Ensuite, ce sera la fluidité du trafic qui sera améliorée car beaucoup moins de voitures seront en circulation, de plus, dans l'idée où 90% des accidents de voitures provient d'une erreur humaine, cela apportera une meilleure sécurité pour les passagers. Enfin, ce sont les villes qui vont pouvoir être libérées des places de parking envahissantes.

De plus, le monde des transports de marchandises va aussi être bouleversé par l'arrivée des véhicules autonomes. Les chauffeurs routiers vont être remplacés par des camions autonomes. Ces changements pourraient arriver plus vite qu'on ne le pense. En effet, contrairement à la voiture autonome, les avancées du camion autonome sont beaucoup plus rapides et sont même en train de devenir une réalité avec des véhicules de niveau 4 équipés de radar LiDAR qui leurs permettra de gagner un niveau de sécurité supplémentaire. Comme pour le transport de passager, c'est le prix de transport qui va drastiquement baisser et un meilleur service de livraison. Aujourd'hui, l'entreprise MAN a affiché ces avancées majeures avec un camion autonome de niveau 4. En effet, leur véhicule est déjà complètement autonome dans des zones ferroviaires avec des tests validés en condition réelle. De plus, MAN est le premier fabricant à avoir obtenu un permis de niveau 4 sur les routes allemandes [37].

5.2. Étude des impacts potentiels sur l'industrie automobile traditionnelle.

Comme nous l'avons évoqué dans la partie précédente, les vendeurs automobiles vont devoir s'adapter. En effet, dans un monde où la voiture autonome s'est implantée en profondeur, c'est 90% de demande en moins sur le parc automobile, une chute drastique de la vente de voiture. Ils devront donc revoir leur stratégie et potentiellement vendre plus aux professionnelles qu'aux particuliers, ce qui est actuellement le cas aujourd'hui. Les équipementiers ont beaucoup évolué dans le domaine automobile. Pendant longtemps, l'équipementier créait l'ensemble de la voiture ainsi que tout ce qu'il contenait, mais aujourd'hui, il est essentiellement fabricant de pièces détachées tels que le pare-chocs ou les éclairages, ainsi que de l'électronique comme l'intelligence artificielle. Or, avec l'avancée de la voiture autonome, l'équipementier pourrait encore changer sa spécialisation en devenant simplement fournisseur de matériel, en laissant toute la partie électronique et informatique à de grandes sociétés informatiques et technologiques qui ajouterait le logiciel, autrement appelé "Digital Driver". L'objectif à atteindre ne sera plus le meilleur confort ou le plus de puissance, mais le meilleur logiciel "Digital Driver". Une course qui a déjà commencé aujourd'hui avec différentes sociétés telles que Tesla, BMW, Mercedes-Benz.

D'autre part, on pourrait aussi s'attendre à une revisite complète de ce qu'est la voiture d'aujourd'hui. En effet, lorsqu'on achète une voiture on choisit ses fonctionnalités lors de l'achat sans qu'il y ait de nouveaux ajouts ou de changements. De plus, de moins en moins de personnes utilisent l'interface embarqué de la voiture elle-même mais plutôt son propre téléphone ou le système Apple CarPlay ou encore l'équivalent androïde. La voiture de demain, en plus d'être autonome, pourrait devenir comme un téléphone géant. C'est-à-dire qu'elle intégrerait un logiciel embarqué qui serait là pour permettre au fabricant de faire des mises à jour régulière de la voiture, comme des mises à jour de sécurité ou encore de nouvelles fonctionnalités, de la même manière que pour nos smartphones. De plus, la sécurité informatique sera au cœur de la voiture autonome pour prévenir contre de potentiels pirates de voiture. Une nouveauté pour le secteur automobile qui devra suivre même après la vente du véhicule[38].

5.3. Étude des attitudes du public envers les voitures autonomes et connectées.

Lorsqu'on pense aux voitures autonomes, on se rappelle souvent que plus de 90% des accidents de la route sont causés par des erreurs humaines. L'arrivée des véhicules autonomes devrait donc avoir un impact positif sur la santé en réduisant le nombre de morts et de blessés sur les routes. Il y aura toujours des accidents, mais leurs causes seront différentes : les défaillances électroniques et les cyberattaques pourraient devenir les principales raisons des décès sur les routes. En 2014, par exemple, 15% des victimes de la route étaient des piétons et près de 30% étaient des conducteurs de deux-roues, souvent impliqués dans des collisions avec des voitures. On peut espérer que la multitude de capteurs et une vitesse réduite permettront aux véhicules autonomes de diminuer significativement ces chiffres.

De plus, une question demeure : quel avenir pour les scooters et les motos ? Est-ce que les deux-roues « manuels » coexisteront avec les voitures autonomes ? À quoi bon vouloir réduire le temps de trajet quand on pourra le passer confortablement dans une voiture autonome, à travailler ou à se détendre ?

La santé ne se limite pas aux accidents de la route, elle englobe également le stress et la pollution. Les conducteurs, libérés de la tâche de conduire, arriveront à destination plus détendus et reposés. De plus, le niveau de pollution diminuera grâce à une meilleure gestion du trafic par les voitures autonomes par rapport aux voitures « manuelles ». Ces véhicules intelligents éviteront les zones à forte densité de circulation pour réduire le temps de trajet et n'auront pas la tentation d'accélérer à l'approche d'un feu pour passer avant qu'il ne devienne rouge. Les voitures autonomes seront également moins polluantes en raison de leur lancement sur le marché après l'essor des véhicules électriques, dont la popularité ne cesse de croître, comme en témoigne la multitude de nouveautés présentées au salon de l'automobile de Paris.

5.3.1. Hausse de la productivité

L'augmentation de la productivité est souvent mentionnée comme un avantage clé des voitures autonomes. Cependant, il est plus pertinent de parler de la libération du temps que les individus pourront consacrer au travail ou aux loisirs. Prenons l'exemple d'un trajet domicile-travail d'une heure aller-retour, 218 jours par an. Cela représente plus de neuf jours complets chaque année que les individus pourront réaffecter à d'autres activités ! Ce formidable gain de temps ne bénéficiera pas seulement aux utilisateurs de véhicules individuels, mais aussi aux usagers des transports en commun, qui pourront opter pour des véhicules autonomes. La réduction significative des coûts de transport en voiture permettra à beaucoup d'échapper aux contraintes du métro, améliorant ainsi la santé publique en réduisant le stress et les désagréments des trajets en transport en commun. De plus, les transports collectifs routiers, tels que les bus, verront leur efficacité augmenter grâce à une gestion intelligente et prédictive du trafic. Pour les trajets personnels, la révolution à venir est tout aussi impressionnante. Pensez à tous les parents qui se sentent comme des « taxis » en conduisant leurs enfants à l'école ou à diverses activités. Avec les véhicules autonomes, les enfants pourront se déplacer seuls, leur destination préalablement programmée par les parents, qui pourront suivre le trajet à distance grâce à des applications similaires à Uber. Cela libérera du temps pour les parents, leur permettant de se concentrer sur d'autres tâches ou de se détendre.

5.3.2. Augmentation de la liberté et de l'autonomie

Le dernier exemple évoqué met en lumière l'une des révolutions majeures induites par les véhicules autonomes : le gain de liberté et d'autonomie pour plusieurs populations. Non seulement les enfants, mais aussi les personnes âgées et les personnes handicapées bénéficieront grandement de cette technologie. Les voitures autonomes vont considérablement accroître la mobilité des personnes vulnérables. Elles permettront également de desservir des lieux et des horaires difficilement accessibles actuellement par les transports en commun. Toutefois, cette révolution ne pourra se concrétiser que si le coût d'utilisation des véhicules autonomes reste suffisamment bas. Je considère ici que la propriété des véhicules cédera la place à leur utilisation partagée. Cependant, ce tableau n'est pas sans défauts. Le gain de liberté pour certains se fera au détriment d'une certaine forme de liberté pour d'autres, qui n'accepteront pas que tous leurs trajets soient systématiquement enregistrés et traçables. Cela pourrait entraîner une augmentation des ventes de vélos, des personnes cherchant à échapper à cette surveillance accrue.

L'aménagement urbain et périurbain va connaître des transformations majeures. Le passage de la propriété à l'usage des voitures entraînera une réduction significative du nombre de véhicules en circulation, puisqu'ils seront utilisés plus fréquemment et de manière plus efficace. En conséquence, les parkings, qu'ils soient privés ou publics, deviendront largement inutiles,

libérant ainsi un espace considérable pour de nouveaux aménagements urbains. Il est difficile de dire aujourd'hui si ces espaces seront transformés en jardins, en logements, en commerces, ou en d'autres installations plus innovantes... mais les perspectives sont enthousiasmantes !

La répartition de l'espace sur la chaussée évoluera pour accueillir les piétons, les véhicules autonomes, et d'autres formes de mobilité (vélos, trottinettes, rollers...), tout en minimisant les risques d'accidents, qui deviendront inacceptables. Cette nouvelle organisation de l'espace public favorisera la sécurité et la cohabitation harmonieuse de différentes formes de transport. Avec des déplacements rendus plus flexibles grâce à des véhicules abordables et plus adaptables à diverses destinations, les individus deviendront moins dépendants des transports publics traditionnels. Cette flexibilité pourrait même encourager une décentralisation des bureaux d'entreprises, permettant à plus de personnes de travailler loin des centres urbains denses. En se projetant entre 2040 et 2060, il est permis d'imaginer une telle évolution.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Les véhicules autonomes et connectés symbolisent une révolution technologique qui redéfinit la mobilité actuelle. À travers ce projet, nous avons exploré les diverses dimensions de cette transformation, depuis la perception et la prise de décision, en passant par les systèmes de communication, jusqu'à l'analyse des impacts économiques et réglementaires.

L'intégration des capteurs et de l'intelligence artificielle joue un rôle central dans le fonctionnement des véhicules autonomes, comme l'illustre le cas de Tesla. Ces technologies permettent aux véhicules de percevoir leur environnement et de prendre des décisions en temps réel, améliorant ainsi la sécurité et l'efficacité.

La connectivité est également cruciale, avec des systèmes de communication comme V2V, V2I, V2N et V2P, qui permettent aux véhicules d'interagir entre eux et avec les infrastructures environnantes. Cette communication en temps réel contribue à une conduite plus sûre et à une meilleure gestion du trafic, tout en posant des défis importants en matière de sécurité des données.

Nous avons également analysé les cadres réglementaires actuels, qui doivent évoluer pour garantir la sécurité et la fiabilité des véhicules autonomes. Les questions éthiques, telles que la prise de décisions en situation d'urgence, nécessitent une attention particulière pour assurer l'acceptabilité sociale de ces technologies.

Sur le plan économique, les voitures autonomes et connectées présentent de nouveaux modèles d'affaires et bouleversent l'industrie automobile traditionnelle. Leur impact sur la productivité, la liberté et l'autonomie des utilisateurs est prometteur, bien que des défis demeurent en termes d'acceptation publique et de transition industrielle.

En conclusion, les véhicules autonomes nous offrent une vision d'un avenir où la mobilité sera plus sûre et plus accessible. Cette vision repose sur l'équilibre entre les technologies, les infrastructures et les régularisations de cette nouvelle technologie.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à M.BENSRHAIR, dont l'encadrement et les conseils précieux ont été essentiels à la réalisation de ce projet. Son expertise et son soutien ont grandement contribué à la qualité et à la profondeur de notre analyse sur les voitures autonomes et connectées.

8. RAPPORT D'ETONNEMENT

Il y a plus de dix ans, une équipe¹, composée de doctorants et de professeurs des universités de Washington et de San Diego (Californie), a étudié la possibilité de pirater les systèmes informatiques des voitures autonomes ainsi que l'impact potentiel que cela pourrait avoir sur la capacité d'un conducteur à contrôler son véhicule.

L'équipe a acheté deux Chevrolet Impala, une pour chaque université, afin de les utiliser comme véhicules représentatifs. Leur première tâche a été de comprendre le langage utilisé par les composants informatiques des voitures. Pour ce faire, ils ont utilisé la méthode de la rétro-ingénierie (méthode qui tente d'expliquer, par déduction et analyse systémique, comment un programme accomplit une tâche sans connaissance précise de la manière dont il fonctionne) pour isoler les composants de la voiture.

Ils ont ensuite cherché à injecter leurs propres instructions dans ce système de communication. Ils ont alors découvert que l'interconnexion de tous les calculateurs (qui contrôlent presque toute la voiture, des serrures de porte à la direction en passant par le système de freinage), signifiait qu'en prenant le contrôle d'un seul calculateur, ils pouvaient potentiellement prendre le contrôle de n'importe lequel.

L'étape suivante était de trouver toutes les autres méthodes possibles pour attaquer la voiture. En utilisant leurs connaissances sur le fonctionnement interne de la voiture, l'équipe a découvert de nombreuses façons de la pirater. Certaines méthodes nécessitaient un accès physique indirect, impliquant qu'une personne ou un objet devait accéder à la voiture. Les outils standard utilisés par les concessionnaires et les mécaniciens pouvaient en effet être compromis à distance, de sorte que lorsqu'ils étaient utilisés sur une voiture, ils pouvaient la détourner secrètement. L'équipe a également découvert une vulnérabilité dans le lecteur CD, leur permettant de coder un CD apparemment normal de manière à infiltrer le système de la voiture². Les autres méthodes d'attaque ne requéraient aucun contact physique avec le véhicule. Ils ont ainsi pu mettre la voiture sur écoute, maîtriser le klaxon, « *Nous avons trouvé des moyens de mettre le contrôleur de frein en mode de test* », a déclaré Karl Koscher, alors doctorant à l'Université de Washington. « *En mode test, nous avons découvert que nous pouvions soit relâcher la pression du système de freinage pour empêcher les freins de fonctionner, soit maintenir le système sous pression maximale pour activer brusquement les freins.* ».

Ils ont alors présenté leurs travaux dans deux articles, publiés en 2010 et 2011. Le premier article résume les composants de la voiture dont un attaquant pourrait prendre le contrôle tandis que le second présente la manière dont un pirate informatique pourrait infiltrer le système de contrôle du véhicule à distance. Ces travaux ont ouvert un nouveau champ de recherche en matière de cybersécurité et alertant l'industrie automobile. Les résultats de l'équipe ont incité les fabricants à reconsidérer les préoccupations liées à la sécurité automobile et à développer de nouvelles procédures standard pour les pratiques de sécurité. Par exemple, la Society for Automotive Engineers (SAE), l'organisme de normalisation de l'industrie automobile, a rapidement publié les premières normes de cybersécurité automobile, en réponse à ces découvertes.

¹ L'équipe finale était composée de onze personnes représentant un large éventail d'expériences. Du côté de l'UCSD, il y avait Stephen Checkoway, alors postdoctorant Damon McCoy, Brian Kantor, membre du personnel de recherche, Danny Anderson, alors étudiant à la maîtrise, Hovav Shacham et Stefan Savage. Du côté de l'UW, il y avait Karl Koscher, Alexei Czeskis et Franziska Roesner, tous doctorants à l'époque, le professeur Shwetak Patel et Tadayoshi Kohno

² Pour leur test, ils ont utilisé la Neuvième symphonie de Beethoven

Mais alors qu'en est -il actuellement ?

A l'heure actuelle, les pirates informatiques ont trouvé de nombreuses nouvelles façons de prendre le contrôle d'un véhicule. Ils peuvent par exemple capturer et réémettre des signaux GPS préenregistrés, obligeant ainsi un véhicule à suivre un itinéraire indésirable prédéfini ou encore falsifier les données perçues par les capteurs, supprimant ainsi un feu rouge ou simulant un mur. L'utilisation de virus s'attaquant au système de freinage est également un moyen utilisé lors du piratage de ces véhicules.

Enfin, le piratage informatique ne conduit pas forcément à une mise en danger des passagers du véhicule. Il est aussi souvent utilisé pour le vol de données personnelles telles que les conversations privées captées à l'intérieur du véhicule, les noms...

Voici des exemples de piratages ayant eu lieu ces dernières années. À la fin de 2023, trois chercheurs allemands ont révélé dans un article publié dans le journal allemand Der Spiegel, comment ils ont réussi à pirater le système d'assistance à la conduite Autopilote de Tesla. Les chercheurs ont expliqué qu'ils ont pu pénétrer dans le système en utilisant un outil appelé "glitch de tension", qui implique l'application d'une forte variation de tension à un processeur pendant une courte période. Cette manipulation provoque une défaillance qui permet d'exploiter une faille dans le système protégé et d'accéder à ses composants internes.

Les chercheurs ont réussi à élever leurs privilèges (activer des fonctionnalités normalement verrouillées et ou payantes) et à accéder aux données confidentielles des utilisateurs et transférer la propriété du véhicule d'un utilisateur à un autre. Après avoir réalisé cette intrusion, l'équipe a informé Tesla de leur découverte. Il ne s'agit pas là d'un cas isolé car 4 ans auparavant, l'autopilote de tesla avait déjà été piraté par des chercheurs qui avaient réussi à détourner le système de navigation de la voiture, à suivre la localisation du véhicule en temps réel, à modifier son itinéraire et à désactiver l'autopilote.

Pour citer un autre cas, réalisée sur une autre marque de voiture, nous pouvons remonter en juillet 2015 lorsque Miller et Valasek ont piraté une Jeep Cherokee via internet. En exploitant des failles logicielles dans le système d'infodivertissement Uconnect du véhicule, ils ont pu prendre le contrôle de plusieurs fonctions essentielles, notamment la climatisation, le système audio et le système de freinage.

Parmi les exemples cités précédemment, tous ont été réalisés dans un but informatif et préventif par des chercheurs ou particuliers qui ont alors publié leurs résultats afin d'alerter sur les failles détectées. Cette entreprise d'amélioration de la sécurité, instaurer par l'équipe de Tadayoshi et Stefan Savage (fondateur du projet jumelant les universités de Washington et San Diego), est d'autant plus importante que les technologies sont davantage présentes dans notre quotidien, et sont vouées à se développer de plus en plus. Kohno résumait déjà l'importance de cette démarche en 2010 lorsqu'il affirmait que : « Nous ne rencontrerons jamais un monde, dans mon esprit, où les gens cesseront de trouver des vulnérabilités. Il est préférable d'être dans un monde où les gens trouvent les vulnérabilités de manière éthique et responsable et les corrigent. » [\[48\]](#)[\[49\]](#)[\[50\]](#)[\[51\]](#)[\[52\]](#).

9. BIBLIOGRAPHIE

- [1] [Découvrir & Comprendre - La voiture autonome \(cea.fr\)](#)
- [2] [Voiture autonome : avancées, fonctionnement, fabricants... | Conseils Drivecase](#)
- [3] [Capteurs pour les véhicules autonomes : entre complémentarité et redondance | Techniques de l'Ingénieur \(techniques-ingenieur.fr\)](#)
- [4] www.tpelavoitureautonomelavoiturededemain.e-monsite.com/pages/coordonnees.html
- [5] www.rs-online.com/designspark/lidar-radar-digital-cameras-the-eyes-of-autonomous-vehicles-fr
- [6] tpe-voiture-autonome.kazeo.com/les-principaux-capteurs-dune-voiture-autonome-a123093210
- [7] [Voitures autonomes : Comment fonctionnent-elles ? - MBA MCI](#)
- [8] [Comment Fonctionne La Camera De La Voiture Autonome ? \(kentfaith.fr\)](#)
- [9] www.science-et-vie.com/archives/voir-comme-en-plein-jour-30189
- [10] www.flir.fr/oem/adas/
- [11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar#Histoire_et_d%C3%A9nomination%20www.kicklox.com/lidar/
- [12] [Voiture autonome, fonctionnement d'une voiture sans chauffeur | Coyote \(moncoyote.com\)](#)
- [13] www.clubic.com/aeronautique/dossier-350757-lidar-definition-cout-cas-pratiques-et-avantages-d-une-technologieaux-proprietes-multiples.html
- [14] [Le Deep Learning et l'infrarouge au service de la voiture autonome \(neovision.fr\)](#)
- [15] [Le radar : principe et fonctionnement | Dossier \(futura-sciences.com\)](#)
- [16] [effet doppler www.maxicours.com/se/cours/l-effet-doppler/](http://www.maxicours.com/se/cours/l-effet-doppler/)
- [17] [www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-sonar-17449/ parfait lui](http://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-sonar-17449/)
- [18] www.bfmtv.com/economie/entreprises/services/les-yeux-et-les-oreilles-des-voitures-autonomes_AN201610100113.html
- [19] [Radar, lidar et sonar : des appareils de mesure presque sur la même onde ! – Le Blog Coyote \(FR\) \(moncoyote.com\)](#)
- [20] [Voiture autonome : un déluge de données à interpréter - Data Analytics Post](#)
- [21] [Le Deep Learning et l'infrarouge au service de la voiture autonome \(neovision.fr\)](#)
- [22] [Qu'est-ce que l'apprentissage profond ? Voici tout ce qu'il faut en savoir - ZDNet](#)
- [23] [Comment fonctionne une voiture autonome ? – CapCar](#)
- [24] [Le guide du machine learning pour débutants - Introduction - HashDork](#)
- [25] [L'intelligence artificielle et le véhicule autonome \(afis.org\)](#)
- [26] www.dataanalyticspost.com/voiture-autonome-un-deluge-de-donnees-a-interpreter/

[27] [Autopilot | Tesla France](#)

[28] https://digitalassets.tesla.com/tesla-contents/video/upload/f_auto,q_auto/network.mp4

[29] [Tesla mise sur le superordinateur Dojo pour négocier le virage de la voiture autonome \(lemonde.fr\)](#)

[30] <https://www.securite-routiere-az.fr/c/convention-de-vienne/>

<https://www.securite-routiere-az.fr/c/convention-de-vienne/#:~:text=La%20Convention%20de%20Vienne%20sur,pour%20am%C3%A9liorer%20la%20s%C3%A9curit%C3%A9%20 routi%C3%A8re.>

[31] <https://www.phonandroid.com/voitures-autonomes-la-conduite-sans-les-mains-sera-autorisee-des-le-1er-septembre-en-france.html#:~:text=Depuis%20le%2014%20juillet%202022,l'utilisation%20de%20cette%20technologie>

[32] <https://www.autojournal.fr/actu/voitures-autonomes-plus-besoin-de-volant-ou-de-pedales-aux-etats-unis-282529.html/amp>

[33] <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/fiabilit%C3%A9/33513#:~:text=1.,deux%20pannes%20successives%2C%20ou%20T.M.B.F.>

[34] [vehicule autonome.pdf \(cerema.fr\)](#)

[35] <https://www.sciencepresse.qc.ca/actualite/detecteur-rumeurs/2023/06/02/non-vehicules-autonomes-ne-pour-demain>

[36] <https://www.pourlascience.fr/sd/science-societe/il-n-y-a-pas-de-solution-universelle-au-dilemme-moral-de-la-voiture-autonome-15004.php>

[37] [Les voitures autonomes : quels impacts sur la société ? \(islean-consulting.fr\)](#)

<https://www.cairn.info/revue-innovations-2015-1-page-71.htm?contenu=article>

<https://www.automobile-magazine.fr/utilitaires/article/41574-conduite-autonome-des-camions-une-longueur-davance>

<https://www.auto-infos.fr/article/man-affiche-les-avancees-de-son-camion-autonome.282006>

[38] <https://www.journaldunet.com/mobilites/1528895-quelles-perspectives-sur-la-voiture-autonome-pour-l-industrie-automobile/>

<https://www.auto-infos.fr/article/au-ces-2024-l-avenir-automobile-s-incarne-plus-dans-le-software-defined-vehicules-que-dans-le-vehicule-autonome.280601>

[39] <https://www.verizonconnect.com/fr/ressources/article/vehicule-connecte/>

[40] <https://www.shunlongwei.com/fr/how-do-the-seven-types-of-v2x-connectivity-work/>

[41] https://www.beev.co/blog/voitures-electriques/voiture-connectee/#elementor-toc_heading-anchor-1

[42] <https://blog.whaller.com/2023/10/05/les-voitures-connectees-passoires-numeriques-et-quete-de-confidentialite/>

[43] <https://www.electroniques.biz/publi-redactionnel/publi-redactionnel-mentor-graphics/une-approche-multiniveau-de-la-securite-des-vehicules-connectes/>

[44] <https://www.informatiquenews.fr/la-gestion-des-donnees-cle-de-la-reussite-de-la-voiture-autonome-et-connecteestephane-cardot-quantum-64439>

[45] <https://exeisconseil.com/article/connectivite-voiture-utilisation-donnees>

[46] <https://www.capital.fr/auto/connecte-et-preventif-nous-avons-conduit-le-vehicule-de-demain-1448603>

[47] <https://blog.whaller.com/2023/10/05/les-voitures-connectees-passoires-numeriques-et-quete-de-confidentialite/>

[48] [Voitures Autonomes & Cyber-Risques | Blog HTTPCS](#)

[49] [UW and UC San Diego researchers honored for their work discovering that someone could hack a car | UW News \(washington.edu\)](#)

[50] [Des images fantômes pour pirater les voitures autonomes. - Sciences et Avenir](#)

[51] [Des chercheurs de l'UW et de l'UC San Diego honorés pour leur travail découvrant que quelqu'un pouvait pirater une voiture | Nouvelles de l'UW \(washington.edu\)](#)

[52] [2021 : Les rapides et les curieux — Le prix de la poule aux œufs d'or \(goldengooseaward.org\)](#)

10. ANNEXE

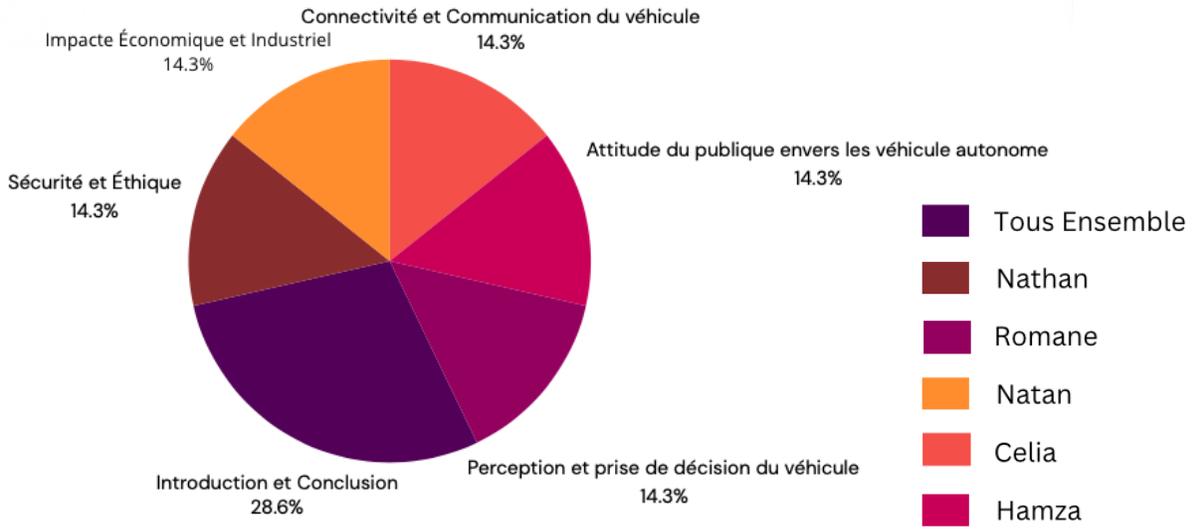


Figure 1 : Répartition du travail du Projet

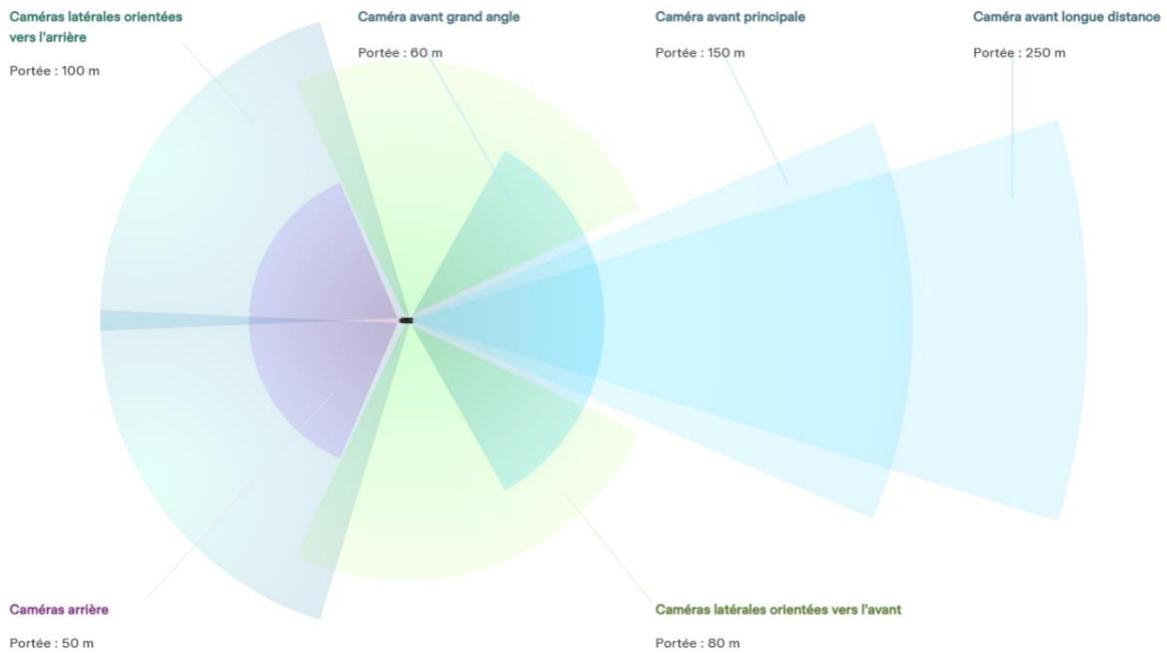


Figure 2 : Positionnement et utilisation des caméras dans les voitures TESLA

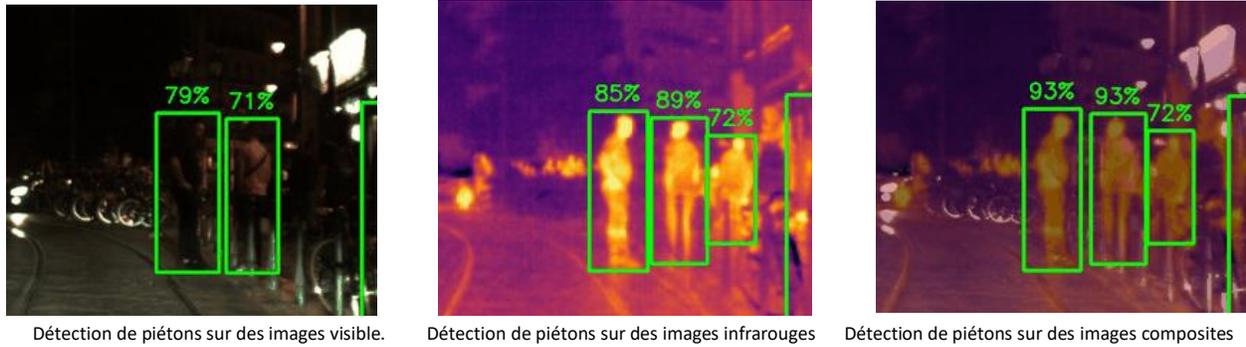


Figure 3

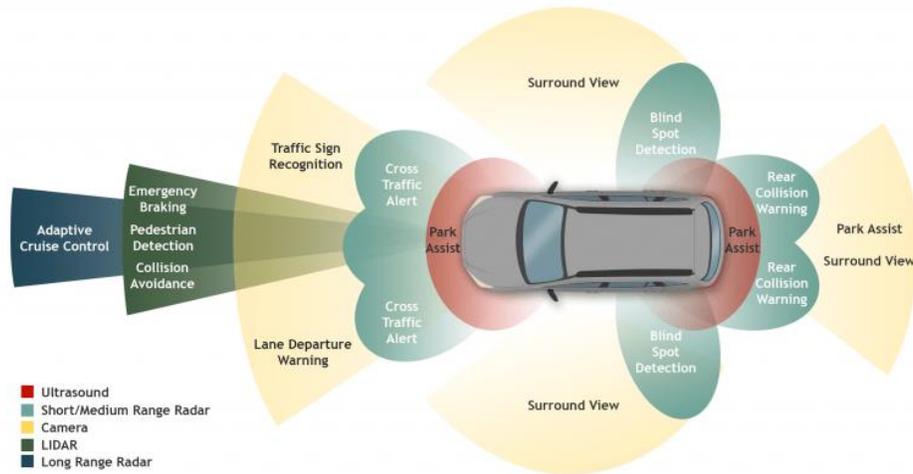


Figure 4 : Schéma du positionnement des capteurs sur une voiture autonome



Figure 5 : Analyse de l'environnement par une voiture TESLA

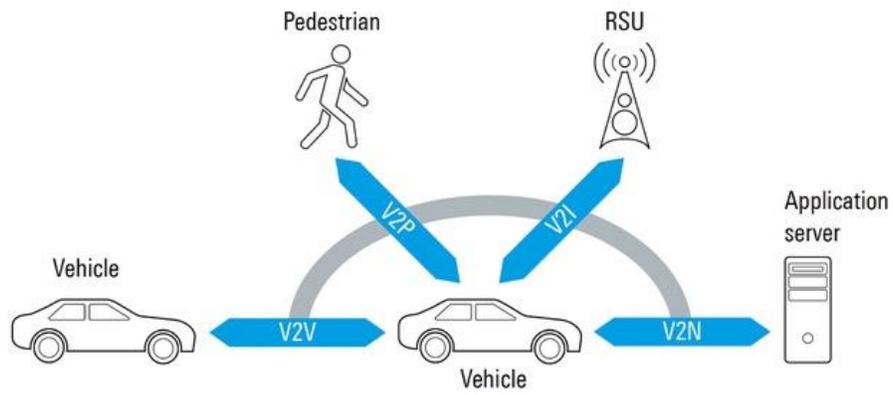


Figure 6 : Différentes connectivités du véhicule