

Projet de Physique P6

STPI/P6/2020 – 03

SYSTÈME V2X POUR LA PERCEPTION DU VÉHICULE AUTONOME



Étudiants :

Louis DEVAUD

Julie FOUCHER

Landza HOUDI

Mathilde LEMOINE

Marine VARLET

Titouan VITRAI

Enseignant-responsable du projet :

Abdelaziz BENSRAIR

Date de remise du rapport : **01/06/2020**

Référence du projet : **STPI/P6/2020 – 03**

Intitulé du projet : **Système V2X pour la perception du véhicule autonome.**

Type de projet : **Veille technologique, documentation et bibliographie.**

Objectifs du projet :

L'objectif principal de ce projet sur les véhicules autonomes est de se renseigner, d'apprendre et de découvrir ce nouveau concept que l'on rencontre tous les jours sur le campus du Madrillet. Ainsi, ce projet doit nous permettre de mieux comprendre le fonctionnement et d'approfondir nos connaissances sur les voitures connectées, en particulier ici sur le système V2X. Ce dernier permet la communication du véhicule avec son entourage, dans n'importe quelles circonstances et avec n'importe quel type d'obstacles (piétons, vélos, feux, réseaux, ...). A l'issue de ce projet, nous devons donc être capables de résumer ce qu'implique un système V2X dans le fonctionnement d'une voiture autonome et comment il fonctionne lui-même. Nous aurons également traité quelques perspectives d'avenir concernant ce type particulier de véhicule.

Mots-clefs du projet : **Véhicule autonome, Communication, Technologie, Développement**

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	5
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. CONCEPT DE LA V2X ET ÉTAT DE L'ART.....	7
3.1. Objectifs de la V2X.....	7
3.2. Historique technologique.....	8
3.3. Fonctionnement général.....	8
3.3.1. Présentation de l'ITS.....	9
3.3.2. La V2X.....	9
3.3.3. Les défis et la sécurisation des données.....	10
3.4. Différentes déclinaisons.....	10
3.4.1. V2I.....	10
3.4.2. V2V.....	10
3.4.3. V2P.....	11
4. AMÉLIORATIONS ET PERSPECTIVES.....	12
4.1. Limites de la V2X.....	12
4.2. Its-G5 vs C-V2X.....	13
4.3. Développement mondial.....	15
4.3.1. États-Unis.....	15
4.3.2. Chine.....	15
4.3.3. Europe	16
4.4. Sécurité.....	17
5. Rapport d'étonnement.....	18
6. Conclusion.....	19
7. Bibliographie.....	20
8. ANNEXE : INFORMATIONS GLOBALES SUR LE VÉHICULE AUTONOME.....	21

NOTATIONS, ACRONYMES

V2X : Vehicle - to - everything

LITIS : Laboratoire d'Informatique, de Traitement de l'Information et des Systèmes

AVA : Autonomous Vehicle for All

ADAS : Advanced Driver Assistance Systems

ABS : Système d'antiblocage des roues

V2V : Véhicule-à-Véhicule

V2D : Véhicule-à-Dispositif

V2I : Véhicule-à-Infrastructure

V2N : Véhicule-à-Réseau

V2P : Véhicule-à-Piéton

V2G : Véhicule-à-Réseau électrique

ITS : Système de Transport Intelligent

ISO : International Standards Organization

OSI : Open Systems Interconnection

ETSI : European Telecommunications Standards Institute

PKI : Public Key Infrastructure

DSRC : Dedicated Short-Range Communications

C-ITS : Cooperative Intelligent Transport Systems

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de notre deuxième année de cycle ingénieur à l'INSA Rouen Normandie, nous devons réaliser un projet de physique appelé EC P6. Notre groupe de 6 personnes se compose de Louis DEVAUD, Julie FOUCHER, Landza HOUDI, Mathilde LEMOINE, Marine VARLET et Titouan VITRAI. Notre projet se rapporte au système V2X pour la perception du véhicule autonome, le but étant de mener des recherches tout le long du semestre sur le sujet afin d'être le mieux informé possible.

Jusqu'à aujourd'hui, les principes utilisés pour faire fonctionner une voiture n'ont pas fondamentalement changé. Cependant, l'amélioration de technologies existantes n'est plus le seul objectif des constructeurs automobiles qui veulent innover. En effet, nous entendons de plus en plus parler de voitures autonomes, de véhicules connectés mais sans vraiment savoir ce qu'ils représentent réellement et comment ils sont construits. Cela nous paraît encore bien lointain. La V2X est le système de communication du véhicule connecté qui lui permet de recevoir des informations de son environnement (infrastructures, piétons, réseaux, ...). Les constructeurs automobiles s'en préoccupent chaque jour davantage car les avantages sont nombreux.

Ainsi, les objectifs principaux de ce projet sur la V2X reposent notamment sur la documentation et la bibliographie ainsi que sur la veille technologique. Nous allons donc tenter de comprendre le fonctionnement du système V2X et ses différentes applications. Pour cela, nous décomposons ce rapport en plusieurs parties : tout d'abord, nous réaliserons une première partie sur le véhicule autonome dans sa globalité. Puis, nous insisterons plus précisément sur le concept de la V2X et son état de l'art. Dans une troisième partie, nous nous intéresserons aux améliorations possibles et perspectives d'avenir. Enfin, nous ferons un rapport d'étonnement avant de conclure.

Vous trouverez en annexe une partie intitulée « Informations globales sur le véhicule autonome » qui constitue un résumé de ce qu'il faut savoir sur ce type de véhicule sans entrer dans les détails, ni dans le thème de la V2X à proprement parlé.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Chaque lundi après-midi, le groupe s'est réuni dans une salle de travail avec notre professeur référent, M. BENSRAIR. Lors des deux premières séances, nous avons découvert le sujet, commencé des recherches chacun de notre côté pour mieux connaître et comprendre ce qui nous était demandé. M. BENSRAIR nous a alors expliqué ce qu'il attendait de nous et ce qu'il voulait que l'on intègre à notre rapport final. Plus tard, nous avons également mis en place avec le professeur un planning de remise des documents ainsi que des dates de répétitions pour l'oral, afin d'organiser et de structurer le mieux possible le semestre. Nous avons donc créé le plan de notre rapport afin de nous répartir les tâches. Ainsi, chaque membre du groupe a choisi un sujet plus particulier pour lequel il devait faire des recherches et rédiger la partie correspondante dans le rapport. Chacun a donc travaillé de son côté. Grâce à un drive, il a été facile de mettre en commun nos avancées au fur et à mesure.

Tableau 1: Répartition du travail concernant le rapport

Louis	Julie	Landza	Mathilde	Marine	Titouan
Limites de la V2X Développement mondial (États-Unis, Chine, Europe)	Historique technologique (état de l'art) Conclusion	ITS-G5 vs C-V2X Rapport d'étonnement	Introduction Méthodologie et organisation du travail Informations globales sur le véhicule autonome Objectifs de la V2X	Fonctionnement général (Présentation de l'ITS, V2X, défis et sécurisation des données) Bibliographie	Différentes déclinaisons (V2I, V2V, V2P) Sécurité

Malheureusement, les circonstances exceptionnelles dues au Coronavirus ont entraîné la fermeture de l'INSA. De ce fait, nous n'avons pas pu nous revoir jusqu'à la fin du semestre. Ainsi, nous avons continué nos réunions hebdomadaires sur Discord. Nous faisons un bilan avec le professeur et programmions notre travail à faire pour la semaine d'après. Nous devons visiter le laboratoire LITIS (Laboratoire d'Informatique, de Traitement de l'Information et des Systèmes) de l'INSA afin de rencontrer des chercheurs et doctorants travaillant sur le sujet, mais ce ne fût pas possible en raison du confinement. De même, il était également prévu de rencontrer des ingénieurs du Rouen Normandy Autonomous Lab de Transdev sur le campus du Madrillet afin de participer aux tests de véhicules autonomes et ainsi de voir la réalité sur ce qui reste pour nous des écrits et des paroles.

Concernant plus précisément notre méthodologie de travail, un chef de groupe a été choisi dès le départ et d'un commun accord, ce fût Mathilde LEMOINE. Elle était donc chargée de communiquer avec le professeur, de lui envoyer un bilan de notre travail et de lui demander des renseignements et de la documentation, si nécessaire. Une fois que chacun eût rédigé sa partie, nous avons fait des recherches sur les parties manquantes. Certaines personnes les ont ensuite rédigées pendant que d'autres commençaient le poster et le diaporama attendu pour la soutenance. Nous avons d'ailleurs pu envoyer une première version de notre rapport à M. BENSRAIR afin qu'il nous donne des pistes d'amélioration et que l'on puisse retravailler sur certains points. Les dernières séances se sont basées essentiellement sur l'amélioration du rapport et la réalisation du poster. En effet, la soutenance a été annulée en fin de semestre en raison des conditions particulières et du fait que nous étions tous à distance pour réaliser cet oral.

3. CONCEPT DE LA V2X ET ÉTAT DE L'ART

3.1. Objectifs de la V2X

L'une des problématiques les plus importantes pour le véhicule autonome est de comprendre son environnement afin de s'y intégrer le mieux possible et avec une sécurité et une fiabilité maximale. Pour cela, deux stratégies sont en cours de développement : l'une plus connue et indispensable, est la perception directe de l'environnement par le véhicule. Dans ce premier cas, on essaie de reproduire la perception humaine pour un trajet donné. L'autre, la V2X (vehicule-to-everything), est la communication du véhicule avec n'importe quels autres objets aux alentours. Ici, on souhaite améliorer la récupération d'informations.

En effet, le système V2X permet la communication embarquée, sans fil et sécurisée, entre les véhicules autonomes et leur environnement (dont infrastructures et piétons). Il permet donc l'échange d'informations et le chiffrement de données afin d'améliorer le pilotage, la sécurité routière, réduire les embouteillages et préserver l'environnement en économisant de l'énergie. On peut donc obtenir des informations telles que la durée des feux ou l'état du trafic afin de communiquer entre véhicules (comme une demande de priorité à une intersection par exemple). Le terme V2X regroupe une multitude de concepts qui peuvent être interprétés comme différents interlocuteurs pour le véhicule connecté : V2V (Véhicule-à-Véhicule), V2D (Véhicule-à-Dispositif), V2I (Véhicule-à-Infrastructure), V2N (Véhicule-à-Réseau), V2P (Véhicule-à-Piéton), et V2G (Véhicule-à-Réseau électrique). Aujourd'hui, des villes fantômes existent un peu partout dans le monde (M-City aux États-Unis ou bientôt Transpolis dans l'Ain) afin de tester ces solutions V2X. Dans des conditions urbaines répliquées, ces territoires de plusieurs hectares servent de zones de test pour les véhicules autonomes et les équipements connectés.

La communication V2X est déployée sur la base de deux technologies principales. D'une part, la V2X basée sur le Wi-Fi (IEEE 802.11p) prend en charge la communication directe entre véhicules (V2V) et entre véhicules et infrastructures (V2I). Cette technique est également appelée "communications dédiées à courte portée". D'autre part, la V2X basée sur le réseau de téléphonie mobile C-V2X qui en plus de la communication directe (V2V, V2I), prend également en charge les communications étendues sur un réseau cellulaire (V2N). Ainsi, nous allons dans les sous-parties suivantes, détailler ces différentes méthodes et par la même, expliquer leur fonctionnement et leurs avancées au cours du temps.

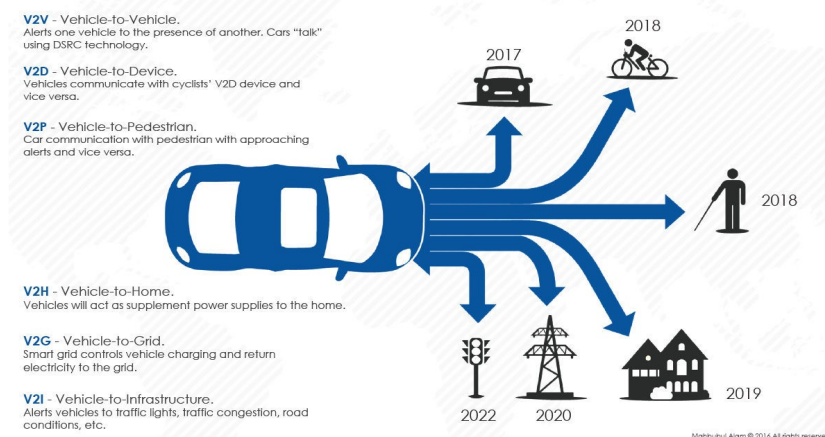


Illustration 1: Schéma représentant le véhicule connecté et son environnement en prenant en compte son évolution au fil des années.

3.2. Historique technologique

C'est depuis les années 1970, que les scientifiques ont commencé leurs recherches sur les voitures autonomes. Les premiers pas vers la voiture connectée ont débuté au Japon par la reconnaissance de marquage au sol en 1977. Mais les recherches ont surtout évolué dans les années 2000 avec l'arrivée des nouvelles technologies, qui ont permis des progrès notamment sur la communication à bord des véhicules autonomes. De nombreux tests et recherches ont permis d'arriver aujourd'hui à une voiture de niveau 2 en matière d'autonomie sur le marché de l'automobile. Parmi les nouvelles avancées technologiques les plus récentes, nous pouvons citer celle du régulateur de vitesse intelligent et du freinage d'urgence mis au point en 2016. En 2018, le pilotage automatique sur les voies rapides permet à la voiture de contrôler sa trajectoire et sa vitesse. Et cette année en 2020, la voiture va pouvoir changer de voie sans que le conducteur n'ait besoin de contrôler le volant.

Plus spécifiquement, pour permettre aux véhicules autonomes de communiquer plus facilement entre eux et avec le monde extérieur, des bandes de fréquences ont été mises à disposition dès 2008 (par exemple, la bande des 5.9 GHz pour la technologie ITS-G5) afin de permettre la transmission d'informations relatives à l'état du trafic et à l'environnement routier. En mars 2018, le Groupe PSA et Qualcomm Technologies, associés depuis février 2017, ont réalisé une première démonstration C-V2X en France (lors de l'événement In&Out sur les mobilités numériques, à Rennes). Les véhicules présentés communiquaient entre eux pour signaler d'éventuels dangers en bordure de route comme des véhicules immobilisés ou ralentis. Bien que les recherches soient encore en cours, des prototypes ont déjà été créés et testés. Volkswagen a d'ailleurs commencé en 2019 à déployer de nouveaux véhicules fonctionnant avec la technologie ITS-G5 (expliquée plus tard). Du côté de la C-V2X, une technologie moins mature et plus récente que la précédente, les groupes PSA et Ford ont des projets pour 2020 aux États-Unis. La technologie ITS-G5 est donc et ce depuis 2019, la solution utilisée en attendant l'arrivée de nouvelles technologies comme C-V2X. Concernant cette dernière, elle fait appel à la 5G, et c'est depuis le début de l'année 2017 que plusieurs applications ont été expérimentées, marquant une étape importante dans le déploiement de la 5G pour les véhicules connectés. Pour résumer, les nombreux essais en cours sur la technologie C-V2X ont permis de planifier le premier lancement commercial pour 2020 sur le marché chinois.

3.3. Fonctionnement général

La communication est l'action de transmettre un message. Elle nécessite donc un émetteur et un récepteur. Chez l'homme, nous utilisons tout simplement la parole ou les gestes mais des centaines de moyens de communication existent. Ici, la V2X est un moyen de communication centré sur le véhicule : « vehicle to all ». Comme abordé précédemment, l'objectif de la V2X est de permettre aux véhicules de communiquer avec tout leur environnement, c'est à dire les autres véhicules, mais aussi les obstacles sur la chaussée ou les piétons. Dans cette partie, nous aborderons le fonctionnement global du V2X ainsi que les défis auxquels il a dû répondre et enfin, nous verrons comment il est possible de sécuriser cette communication.

La communication peut se scinder en deux branches : l'acte de transmettre une information et celui de la capter. Les véhicules étant des machines, ces actions sont effectuées à travers des outils informatiques soumis à des normes. Il est donc nécessaire de définir dans un premier temps l'ITS (Système de transport intelligent), ensuite nous verrons plus précisément comment l'ITS est employé pour la V2X.

3.3.1. Présentation de l'ITS

L'ISO (International Standards Organization) est l'organisme responsable de la mise en place des standards informatiques. Elle est à l'origine de la création de l'OSI (Open Systems Interconnection) qui régit la communication entre les différents systèmes informatiques. Dans le cas des véhicules, les standards de communication ont été définis par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) sur la base du modèle OSI : il s'agit de l'architecture appelée l'ETSI ITS. Ce dernier définit cette communication sous forme de couches :

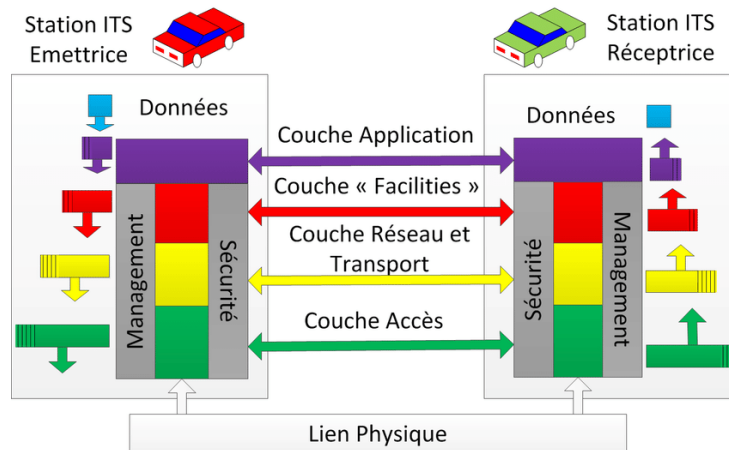


Illustration 2: Architecture ITS.

Comme dans le modèle de l'OSI, il y a différentes couches qui ont toutes une utilité particulière. Le message est un ensemble de données en possession de l'émetteur, qui va devoir ajouter des informations à celui-ci afin qu'il puisse arriver dans son intégralité, et qu'il soit compris. Dans ce but, la couche "application" permet l'accès au réseau, cette information est donc ajoutée au message total. Ensuite, la couche "facilities" occupe un rôle équivalent à celui de la couche session et présentation du modèle OSI. Elle permet de gérer la syntaxe des informations et la manière d'organiser les données du message. La couche "réseau et transport" s'assure de l'envoi de l'information. Enfin, la couche "accès" est en liaison avec le réseau physique et s'occupe d'envoyer le message à travers les différents nœuds en liaison. Une fois le message envoyé, il est reçu par l'émetteur et traverse à nouveau les différentes couches afin que la machine lise et comprenne le message.

3.3.2. La V2X

Le paragraphe précédent traitait de façon abstraite la manière dont fonctionnent les ITS, attardons nous plus concrètement sur le fonctionnement global du système V2X. Plusieurs capteurs sont insérés au véhicule et récoltent les données : la température, la vitesse, l'état des autres composants, les distances avec des obstacles... Une gestion des données sans fil est également mise en place à l'aide d'autres émetteurs et récepteurs, afin de permettre au véhicule de communiquer avec d'autres entités. Pour cela, on utilise notamment le réseau Wifi ou cellulaire 4G. Ces données sont traitées par une plateforme de traitement, on peut assimiler cela à un ordinateur embarqué. Il y a un routeur mobile qui gère les échanges dans le réseau et un hôte mobile qui gère la V2X et l'interface homme-machine. Selon les normes définies par l'ETSI, plusieurs technologies ont vu le jour dans le but de mettre en place une communication coopérative : ITS-G5, LTE-V2X et C-V2X.

3.3.3. Les défis et la sécurisation des données

La conception de telles technologies a nécessité de relever plusieurs défis, notamment la résistance aux intempéries des capteurs ou encore la gestion du temps, puisque pour être efficace, la V2X requiert une grande rapidité d'échange d'informations. Les données doivent être transmises en temps réel. Un des enjeux les plus importants est la sécurisation de ces données. En effet, toute attaque malveillante pourrait avoir de graves conséquences, comme des accidents de la route. Ainsi, les données sont sécurisées à l'aide du chiffrement PKI (Public Key Infrastructure) dont le principe est le suivant : toutes les stations ITS, véhicules et unités de bord de route, doivent être inscrits auprès de l'infrastructure PKI dédiée aux ITS afin d'obtenir un certificat de communication valable plusieurs années. Par la suite, le véhicule obtient plusieurs certificats temporaires différents pour sécuriser chaque échange de données.

3.4. Différentes déclinaisons

L'objectif est ici d'améliorer la prise d'informations en donnant aux entités entourant la voiture, la possibilité de transmettre des informations sur la route, la signalisation et les autres véhicules circulants.

3.4.1. V2I

La V2I se définit comme étant la communication des véhicules avec les infrastructures (panneaux, feux rouges, serveurs d'information). Il existe des structures chargées de transmettre les informations sur la circulation (travaux, restrictions, embouteillages, signalisations...).

A quoi peut ressembler les technologies de la V2I ?

- Marquages au sol avancés : Des marquages au sol visibles par l'humain et la machine, peu importe les conditions de route, sont nécessaires. Les marquages des voies de chaussée fonctionnent avec des capteurs automatisés pour détecter les lignes en dehors du spectre des ondes visibles, améliorant la détection des voies et la sécurité du trafic même dans les conditions météorologiques les plus extrêmes.
- Signalisation intelligente : nous avons également besoin d'une signalisation directionnelle visible par les humains et les machines dans toutes les conditions routières. Les panneaux rétro-réfléchissants offrent une meilleure lisibilité, ce qui se traduit par une navigation plus précise et une prise de décision plus rapide pour les conducteurs et les systèmes de véhicules automatisés. L'avantage réside dans la compatibilité de cette signalisation intelligente avec la signalisation traditionnelle.
- Il existe également un besoin de communications sans fil permettant d'identifier rapidement les zones de construction et les dangers potentiels pour la sécurité afin que la mobilité des véhicules et la circulation puissent s'améliorer.

3.4.2. V2V

La V2V correspond à la communication entre véhicules. Les informations échangées peuvent inclure la vitesse, l'emplacement, le sens de direction, le freinage ou encore la perte de stabilité. Cette communication a lieu directement ou par le biais d'une infrastructure qui prend en charge la V2X.

L'ensemble des véhicules forme un réseau véhiculaire nommé VANET. Chaque véhicule correspond à un nœud et est susceptible d'émettre, de recevoir et de retransmettre des informations en provenance des autres nœuds. Les informations sont découpées en paquets. L'adressage de ces paquets échangés dans un VANET peut s'appuyer sur le protocole IP (protocole définissant le schéma d'adressage et le format des paquets utilisés pour acheminer les données dans Internet). Ce protocole est accompagné de mécanismes de gestion de la mobilité. L'émission des paquets dans le réseau se fait selon les modes suivants :

- Unicast, méthode de diffusion depuis une source vers un nœud.
- Multicast, méthode de diffusion depuis une source jusqu'à un groupe de nœuds prédéfini.
- Broadcast, la diffusion se fait depuis une source jusqu'à tous les autres nœuds.
- Anycast, méthode de diffusion depuis une source vers un nœud choisi parmi plusieurs destinations possibles.

La technologie V2V utilise des communications dédiées à courte portée (DSRC). Parfois, il est décrit comme étant un réseau Wi-Fi, car l'une des fréquences possibles est 5,9 GHz, qui est utilisée par le Wi-Fi.

3.4.3. V2P

Il s'agit de la communication entre véhicule et piétons. Les systèmes V2P sont organisés en fonction des différents types de piétons que l'on trouve sur la route. Ces derniers présentent différentes caractéristiques :

- Les individus à pied (5km/h). On peut y différencier les adultes, les enfants, et les personnes âgées ou à mobilités réduites. Chaque catégorie a des caractéristiques spécifiques : les enfants ont des trajectoires imprévisibles tandis que les personnes âgées ont des trajectoires plus lentes.
- Les cyclistes (15 km/h). Ces derniers se déplacent sur la route ou sur la chaussée. Ils circulent seuls ou en groupe (les vélos se placent alors généralement en ligne droite).
- Les deux-roues motorisés (50 km/h). Ces derniers circulent généralement seuls.

En raison de sa polyvalence et de son omniprésence, l'outil majoritairement utilisé dans les systèmes V2P permettant la communication du piéton est le téléphone portable. Il présente néanmoins certains désavantages (batterie ou sensibilité radio trop faibles). De multiples efforts ont été déployés pour concevoir des systèmes V2P de prévention des collisions. Des études des scénarios post-accidents permettent d'adapter les systèmes V2P et maximisent leur efficacité.

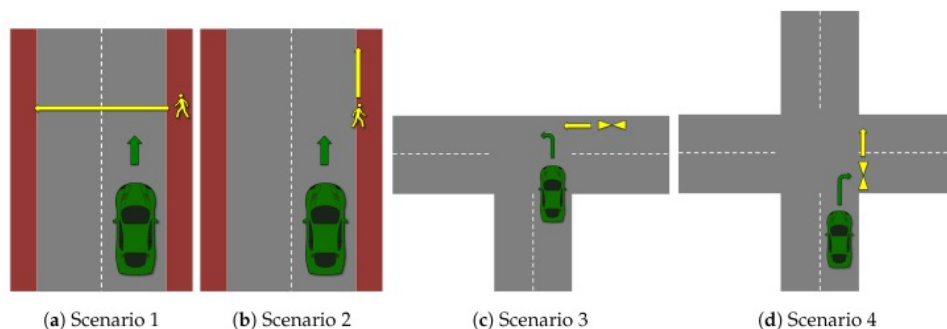


Illustration 3: Différents types de scénarios.

Ils existent des modes de communication directs et indirects (voir même hybrides). Les modes de communication directs impliquent des véhicules et des piétons communiquant directement entre eux, c'est-à-dire sans entité intermédiaire. Les modes de communication indirects impliquent que les véhicules et les UVCR communiquent entre eux indirectement, c'est-à-dire au moyen d'une infrastructure. Lequel choisir ? Le mode de transmission direct implique que véhicule et piétons soient munis de la même technologie, ce qui n'est pas le cas pour le mode de transmission indirect. Cependant ce dernier peut représenter une transmission d'informations plus lente.

Les systèmes V2P peuvent utiliser la technologie IEEE 802.11p, qui a été conçue spécialement pour les communications V2X, la technologie cellulaire (3G, C-V2X (5G)) ou encore le Wi-Fi qui lui n'est pas utilisable pour de grandes vitesses.

4. AMÉLIORATIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Limites de la V2X

La technologie si prometteuse qu'est la V2X tant sur le plan technologique que fonctionnel a néanmoins de nombreuses limites. Nous allons ici en explorer quelques unes. Tout d'abord, son prix d'un minimum de 75 000 euros par véhicule aujourd'hui peut en faire réfléchir plus d'un. Du point de vue de l'acheteur, la V2X relève plus du gadget que du véritable investissement dans un moyen de transport. De plus, les unités de bord de route qui permettent son fonctionnement coûteraient environ 3000 euros pour une couverture de 2 km. Le déploiement de telles infrastructures ne se fera donc que lorsque le domaine du véhicule sera un secteur sûr, lucratif et durable. Cependant, qui serait responsable de leur installation et de leur entretien au niveau national ? L'État, les collectivités territoriales, les gestionnaires autoroutiers ou encore des acteurs privés ? La réponse à cette question cruciale reste encore à déterminer.

Ensuite, les voitures autonomes ne pourraient pas circuler à la même vitesse que n'importe quel automobiliste. En effet, leur allure est limitée pour des raisons évidentes de sécurité. En ce qui concerne la technologie à utiliser, là encore un problème se pose. Deux technologies s'opposent : la C-V2X et l'ITS-G5, chacune d'elle ayant ses propres avantages et inconvénients. Il y a donc un choix technologique à faire avec la nécessité d'une normalisation globale, notamment au niveau des bandes passantes et des fréquences d'émissions pour le fonctionnement du système qui diffère d'un pays à l'autre. Le problème de la portée de transmission et de la réception des informations nécessaires au véhicule autonome est également légitime même s'il devrait normalement être résolu avec l'arrivée de la 5G.

Cependant, en cas d'accident, reste à déterminer qui est responsable. Est-ce le conducteur, le véhicule, le constructeur ? Faudra-t-il à certains moments adapter la route à ce genre de véhicule lorsque les limites de l'intelligence artificielle seront atteintes ? Enfin, l'autonomie des véhicules restera-t-elle un privilège ou bien sera-t-elle un jour grand public ? On peut d'ores et déjà prendre comme exemple la délivrance d'un permis de conduire pour voiture autonome en 2014 à un automobiliste de Californie. On peut également se demander si des enfants pourront "conduire" ces véhicules sachant qu'ils ne sont pas censés en prendre le contrôle. Ces barrières juridiques pourraient à l'avenir (et elles le sont déjà) être un frein au développement de la V2X. Il reste également à convaincre le grand public d'investir dans cette technologie. En effet, certains utilisateurs pourraient ne pas être satisfaits du suivi systématique des règles de la route qui peuvent s'avérer contradictoires voire dangereuses.

D'un point de vue social, de nombreux secteurs d'activité dans le domaine du service viendraient également à disparaître comme les chauffeurs de bus ou de taxis, les garagistes, ou encore les moniteurs d'auto-école. Il faudrait alors repenser l'organisation de ce secteur économique majeur en France.

Enfin, la V2X possède également beaucoup de contraintes d'un point de vue technologique et numérique. En effet, les véhicules seraient amenés à confondre dans certains cas les feux tricolores avec d'autres sources de lumière. L'installation de capteurs sur ces derniers serait alors envisageable. Elle devra cependant être systématique pour que cela fonctionne. De plus, en ville, la propagation des données est susceptible d'être fortement ralentie voire bloquée par certaines structures comme les bâtiments, les ponts mais aussi certains effets physiques comme l'effet Doppler par exemple. Côté numérique, il existe également quelques problématiques notamment en terme de sécurité. En effet, les systèmes de défense face au piratage des véhicules autonomes ne sont pas encore mis au point, ce qui rend vulnérable n'importe quel utilisateur de la V2X. De plus, une voiture utilise à elle seule environ 4000 GB de données par jour (en fonction de son utilisation). Il reste donc à s'assurer que les réseaux mis en place puissent subvenir aux besoins de l'ensemble des véhicules en circulation.

Pour finir, en considérant qu'il y aura des véhicules dotés de niveaux d'autonomie différents sur la route, comment s'organiseront-ils entre eux et ce avec les voitures classiques ? Toutes ces questions devront être abordées et résolues afin que la voiture autonome puisse être utilisée de manière fiable et sécurisée. La V2X a donc encore beaucoup de chemin à parcourir même si elle reste aujourd'hui l'une des technologies les plus prometteuses.

4.2. Its-G5 vs C-V2X

La technologie V2X permet la communication entre les véhicules et les infrastructures, d'autres véhicules et les piétons entre autres. Cependant, cette technologie est compliquée à mettre en place à cause du choix des fréquences de communication et des technologies disponibles pour celle-ci (ITS-G5 et C-V2X). Certains groupes d'entreprises tels que le 5GAA (5G Automotive Association) préconisent la cohabitation entre les deux technologies que sont l'ITS-G5 et le C-V2X sur la bande des 5,9 GHz. Le point de vue de ces groupements est qu'il faudrait laisser à chaque pays le choix de la technologie de communication qu'il veut adopter, plutôt que d'établir un standard mondial. Néanmoins, le PDG de VayaVision (une entreprise de développement de logiciels pour la perception des véhicules autonomes) affirme que ce système aurait un impact négatif pour l'industrie des véhicules autonomes, pour les acheteurs et pour les gouvernements. Nous allons donc, dans cette partie, dresser un état des lieux des avantages et inconvénients de chacune de ces deux technologies pour au final essayer de déterminer laquelle serait la plus adaptée à une échelle mondiale. Traitons dans un premier temps le cas de l'ITS-G5.

L'ITS-G5 est une technologie mature, dérivée du Wifi. Plusieurs projets pilotes à grande échelle ont déjà été réalisés avec cette technologie, notamment le pilote SCOOP, qui vise à déployer 3000 véhicules sur 2 000 km de routes répartis en cinq sites : Île-de-France, A4, Isère, rocade de Bordeaux et Bretagne. Cette technologie est conçue pour fonctionner uniquement en bande 5,9 GHz. La notion de maturité doit toutefois être considérée avec prudence dans la mesure où peu de tests avec une densité significative de véhicules ont été réalisés et documentés. C'est pourquoi certains constructeurs automobiles et certains pays ont déjà commencé à employer cette technologie.

On peut notamment citer les constructeurs Renault et Volkswagen qui pour cette dernière avaient prévu le début d'un déploiement de voitures pour 2019. En ce qui concerne les instances nationales, nous avons le Japon qui a débuté en 2011 un programme permettant le I2V aux moyens de la technologie DSRC (Dedicated Short-Range Communications, équivalent de l'ITS-G5). Le Japon a réservé la bande 5.8 GHz pour cela. Cette technologie est également employée aux États-Unis et la Corée du Sud a porté à son terme un projet pilote de services I2V, V2I et V2V sur un tronçon autoroutier de 88 km utilisant la même technologie.

On a donc pu observer dans cette partie que la technologie ITS-G5 ou DSRC (équivalent) sont des technologies "mûres" sur lesquelles de nombreux tests ont été faits. Cette technologie a donc pu se fiabiliser avec le temps et les expériences, et déjà de nombreux pays se basent dessus. Mais avant de se prononcer définitivement et de trop mettre en avant cette technologie pour les futures voitures autonomes, observons maintenant le cas de la technologie C-V2X. Faisons un rapide rappel de ce qu'est la C-V2X. Il s'agit d'une plateforme unifiée offrant aux véhicules la possibilité d'utiliser les moyens de communication que sont le V2V, le V2I et le V2P avec une faible latence lors de l'utilisation. Cela se fait en connectant chaque véhicule et en permettant le développement d'un "cooperative intelligent transport systems" (C-ITS) dans le but de réduire la pollution ainsi que les embouteillages. Cette plateforme a le potentiel d'améliorer les trajets sur les autoroutes et en ville, en interprétant les informations recueillies par les voitures et les services de sécurité.

Maintenant, nous allons comme dans le cas précédent voir quel sont les projets ou les mesures mis en place par les fabricants et les états pour cette technologie. Tout d'abord, nous avons PSA qui a décidé d'équiper certains de ses véhicules à partir de 2020 et Ford suit la même dynamique en voulant équiper ses voitures aux États-Unis dès 2022. Comme nous l'avons vu auparavant, le Japon a déjà fait des tests sur l'ITS-G5 mais il faut aussi savoir qu'ils ont réservé la bande 760 MHz pour des tests sur la V2V. En Chine, quant à eux, la bande 5905-5925 MHz est réservée pour la C-V2X depuis octobre 2018. Et aux États-Unis, la technologie peut avoir accès à la même bande que celle réservée au DSRC dans certaines zones géographiques restreintes et ce, à titre expérimental uniquement.

Nous pouvons conclure que suite à nos observations, la technologie ITS-G5 a été bien plus testée que la C-V2X. Cette première est donc sûrement bien plus stable et serait sûrement bien plus apte à être utilisée à une échelle mondiale dans une optique d'harmonisation pour tous les états et les constructeurs. Cependant, nous ne pouvons pas être si catégorique pour ce choix. En effet, ces deux technologies sont encore jeunes et nécessitent encore des tests, notamment la C-V2X qui va très certainement beaucoup évoluer et s'améliorer avec l'arrivée de la 5G fournie par les opérateurs téléphoniques. Mais il faudrait alors que ceux-ci puissent couvrir tout le réseau autoroutier et cela pour tous les pays. De plus, un autre problème verrait le jour : les fournisseurs de réseaux ne sont pas les mêmes en fonction des pays, alors comment gérer cette contrainte ?




	Bandes des opérateurs mobiles	Bande 5,9 GHz	Bande des opérateurs mobiles + bande 5,9 GHz
Technologies	2G, 3G, 4G, bientôt 5G	ITS-G5 (dérivé du Wi-Fi)	C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything)
Mode de communication	Vehicle-to-Network	Vehicle-to-Vehicle Vehicle-to-Infrastructure Vehicle-to-Pedestrian	Vehicle-to-Network Vehicle-to-Vehicle Vehicle-to-Infrastructure Vehicle-to-Pedestrian
			

Illustration 4: Petit résumé des technologies et de leur mode de communication.

4.3. Développement mondial

Bien que la V2X ne soit pas encore globalisée, elle commence à sérieusement se développer chez les grandes puissances mondiales. Le secteur de la voiture autonome étant un domaine de développement majeur des nouvelles technologies en matière d'intelligence artificielle, on observe aujourd'hui un effort généralisé autour de ces systèmes. Chaque puissance cherche à devenir leader et à dominer le marché mondial.

4.3.1. États-Unis

De l'autre côté de l'Atlantique, bien que des entreprises comme Tesla proposent déjà des voitures équipées de systèmes de conduite autonome, le développement de tels véhicules est plus lent que prévu et ce pour plusieurs raisons. Tout d'abord, tout accident lié de près ou de loin à une voiture autonome, et donc à une défaillance du système V2X, est surmédiatisé au niveau national. Cela ne fait que renforcer une méfiance déjà très présente de la population à l'égard de cette technologie et un certain scepticisme de l'opinion public. Bien que le ratio d'accidents liés à une voiture autonome par rapport à leur nombre en circulation soit bien inférieur à celui du véhicule classique, il semble que l'erreur humaine soit encore bien plus acceptable que l'erreur de la V2X.

Bien moins soupçonnés, les lobbys des assurances jouent également un rôle prépondérant. En effet, une industrie colossale brasse des millions de dollars grâce aux 5 millions d'accidents annuels aux US. Cela fait de la V2X l'ennemi numéro un de ces entreprises dont le chiffre d'affaire repose essentiellement sur ces accidents, que la V2X tend à réduire considérablement. C'est pourquoi la perturbation de cet écosystème si lucratif ne peut se faire sans un changement de l'opinion public et du temps. Autre facteur de ralentissement, il semble que le défi technologique que représente la V2X complète soit plus complexe que prévu. Le niveau 5 d'autonomie des voitures, à savoir le fait que le véhicule puisse évoluer seul dans n'importe quel environnement, reste pour le moment difficilement atteignable tant le milieu routier présente une grande diversité. De nombreuses ressources et heures de travail sont donc encore à pourvoir afin d'atteindre ce stade d'autonomie.

Cependant, le département des transports américain a fait plusieurs appels à retour pour obtenir plus d'informations sur l'utilisation des voitures autonomes par les particuliers afin de mettre en place des décrets et commencer à encadrer leur utilisation. Les États-Unis sont donc déjà, sans surprise, un acteur majeur du véhicule autonome, bien qu'il leur reste quelques points à affiner afin de maîtriser la V2X dans son ensemble.

4.3.2. Chine

Ayant reconnu le potentiel de la V2X, la Chine a, comme à son habitude, récemment investi dans ce secteur afin de rattraper son retard et d'entrer dans la course face aux États-Unis. Elle est en effet passée de rien à une augmentation exponentielle d'investissements dans ce domaine. Ce véritable effort national poussé par le gouvernement révèle la volonté de la Chine de devenir leader du marché avec le projet Made in China 2025. Certaines villes sont déjà dotées de 20% de voitures autonomes. Car ce schéma, la Chine l'avait déjà mis en place pour la voiture électrique à défaut d'avoir pu avoir sa place pour les moteurs thermiques : il s'agit des quotas. C'est en effet de cette manière que le gouvernement Chinois avait imposé au constructeur l'électrification des véhicules en circulation. Il peut ainsi sembler probable qu'elle reproduira le même système pour la V2X, s'imposant ainsi presque passivement en leader mondial du marché. S'ajoute à cela le fait que de nombreux constructeurs occidentaux renoncent déjà au niveau supérieur de la technologie pour des raisons financières et personnels qualifiés.

Du côté des entreprises, la Chine semble également être plus apte à faire évoluer la V2X. Baidu, le concurrent direct de Google en Chine, a mis à disposition en open source l'intégralité de ses ressources dans le domaine afin de disposer du maximum de données possibles pour son intelligence artificielle. Il espère ainsi à terme accélérer le développement de sa technologie. Des géants du web Chinois tels que Alibaba et Tencent veulent aussi leur part du gâteau avec des investissements massifs dans les startups de recherche en intelligence artificielle ainsi que des partenariats avec de grands constructeurs comme BMW ou Toyota par exemple.

4.3.3. Europe

Avec un manque de réglementation et de législation flagrant, l'Union Européenne est aujourd'hui bien derrière les deux autres puissances précédemment évoquées en matière de V2X. Il est aujourd'hui très difficile pour un investisseur de développer son projet en Europe. Il se voit donc contraint de le faire ailleurs, se soumettant alors à des lois étrangères, ce qui est très néfaste pour l'Europe en matière de compétitivité.

Autre retard européen, le déploiement de la 5G qui est déjà prévu et en cours en Chine et aux États-Unis, mais beaucoup moins anticipé sur le vieux continent. En effet, d'abord intéressé par la technologie wifi, préférée des constructeurs européens car moins chère, c'est finalement la 5G qui a été choisie pour la V2X pour des raisons de fiabilité. Il faudra donc attendre que le réseau 5G soit largement déployé, fiable et sécurisé pour que l'on voit un jour des voitures complètement autonomes en Europe. Un autre facteur qui pourrait freiner le marché européen de manière considérable est le fameux plaisir de conduire, culturellement installé en Europe. En effet, les populations chinoises, plus jeunes et ouvertes aux nouvelles technologies accueillent beaucoup plus facilement la V2X et les véhicules autonomes que l'Europe.

Pour conclure, bien que les États-Unis aient eu pendant une courte période une certaine longueur d'avance en matière de V2X avec Tesla, il semble que ce soit maintenant en Chine que l'avenir de la voiture autonome se joue. Tous les facteurs pour une croissance exponentielle du secteur y sont réunis : de très nombreux investisseurs privés avec d'énormes ressources, une pression étatique pour le développement de la V2X et ses technologies associées. A celles-ci s'ajoute un marché dont les consommateurs sont prêts à acheter massivement les nouveaux véhicules autonomes mis en circulation. Et c'est précisément de tout cela dont manquent aujourd'hui l'Europe et dans une moindre mesure les États Unis.



Illustration 5: Véhicules connectés en action.

4.4. Sécurité

Alors que la technologie V2X est plus que jamais d'actualité, une question de plus haute importance réside toujours : Ce système assurera-t-il la sécurité ? Certains incidents tendent à remettre en question l'utilisation et le fonctionnement de la V2X. L'accident mortel du 6 novembre 2019 en est la preuve. Alors que le logiciel avait bien repéré un piéton, près de six secondes avant le choc, il ne l'a pas considéré comme tel mais comme un objet. Lorsque le logiciel a détecté une collision imminente, le freinage d'urgence n'a volontairement pas été déclenché car il aurait provoqué un freinage trop brusque mettant en jeu la vie des autres conducteurs de la route. De ce fait, une des questions que soulève la voiture autonome est d'ordre moral. Face à un accident inévitable, cette dernière devrait plutôt s'empaler contre un camion ou bien renverser un piéton ? Décidera-t-elle que la vie du conducteur est plus importante que celle d'un piéton ? C'est à cette question morale, intimement liée à la sécurité des usagers de la route, que la voiture autonome devra répondre dans les prochaines années.

Aussi, il se trouve que la voiture autonome est potentiellement vulnérable aux cyberattaques. Tous les éléments connectés liés à la communication sont des cibles. Ces véhicules sont de véritables réceptacles à données qui ont accès à nos vies personnelles, à nos mails, nos contacts, nos historiques de déplacements. De plus, il est important de mentionner que de nombreux chercheurs ont déjà réussi à faire aboutir différentes attaques sur des véhicules récents et ont même pu en prendre totalement le contrôle.

Qu'est-ce que la voiture autonome devrait faire ?

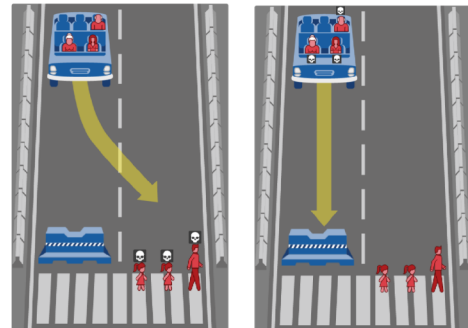


Illustration 6: Choix de la voiture ou pas ?

C'est pourquoi avoir confiance en la voiture autonome nécessite une garantie totale en terme de protection des données : elle ne doivent pas pouvoir être supprimées/modifiées ou même divulguées. Les objectifs sont donc les suivants :

- Sécuriser les informations reçues et émises par les véhicules en les rendant anonymes ;
- Intégrer des systèmes avancés et automatiquement mis à jour, capables de détecter toute sorte d'intrusions ;
- Sécuriser les technologies sans fil de la voiture (Wi-Fi et Bluetooth notamment) ;
- Développer les mécanismes anti-vol des voitures connectées ;
- Sécuriser l'activation des composants de la voiture rendant impossible toute prise de contrôle du véhicule.

Ainsi, le véhicule autonome soulève encore certaines questions en terme de sécurité. Il est à espérer que les constructeurs prendront conscience de ces enjeux et trouveront les solutions appropriées.

5. RAPPORT D'ÉTONNEMENT

Le véhicule autonome est une technologie que nous ne pensions pas aussi avancée. En effet, elle s'est énormément développée ces dernières années, tout en ayant les idées depuis plus longtemps. Nous avons aujourd'hui des éléments à la pointe de la technologie qui permettent de rendre les voitures autonomes de plus en plus compétitives et réalistes. Beaucoup de marques se mettent à proposer des voitures de ce type avec plus ou moins d'éléments de communication. De ce fait, concernant la V2X, il s'agit d'un système très complexe car d'une part, il se découpe en plusieurs parties pour les différents intervenants dans la communication et d'autre part, plusieurs procédés permettent cette communication et ils ne s'utilisent pas de la même manière.

Suite à nos recherches, nous nous sommes rendus compte que les voitures autonomes étaient plus que jamais d'actualité. En effet, il est maintenant très simple de nous imaginer à bord d'une voiture autonome ou encore de voir des voitures sans conducteur, d'autant plus que le projet "Rouen Normandy Autonomous Lab", dont les tests sont effectués à deux pas de notre école, nous permet de les voir régulièrement. Nous avons souvent été intrigués par ces Renault ZOÉ que le projet Autonomous Lab met en circulation sur notre campus. Nous avons eu envie de nous y intéresser et maintenant nous comprenons un peu mieux leur fonctionnement même si malheureusement notre projet de P6 nous a permis uniquement de nous pencher sur un seul des aspects de la voiture autonome, alors que ces derniers font que les voitures autonomes sont aujourd'hui ce qu'elles sont. Cependant, nous émettons encore certains doutes vis-à-vis de la sécurité (il s'agit d'un point primordial et majeur de nos jours). En effet, la technologie n'est pas encore totalement au point et doit encore passer de nombreux tests, mais nous sommes sur la bonne voie et notre groupe trouve ça plutôt encourageant pour le futur de la voiture autonome. De plus, nous avons trouvé cela regrettable de ne pas pouvoir tester et rouler dans des voitures semi-autonomes, nous pensons que cela nous aurait aidé à mieux nous rendre compte de l'importance et de la perspective d'avenir que cela représente. Mais avec les conditions sanitaires actuelles, nous n'avons pas eu le choix. Ce projet nous a permis de nous rendre compte que nous n'étions pas au bout de nos surprises en matière de nouvelles technologies et cela nous donne envie de participer à la conception de futures technologies toujours plus innovantes.



Illustration 7: Voiture autonome du campus du Madrillet.

6. CONCLUSION

Pour conclure, nous avons vu que la technologie V2X est une véritable avancée technique et technologique qui va jouer un rôle fondamental dans le transport autonome et l'avenir de l'automobile en général. En effet, la V2X permettra aux voitures, dans un futur proche, de percevoir leur environnement et de communiquer avec; et donc de rendre la circulation plus écologique, plus agréable et plus sûre en diminuant le risque d'accidents. Cependant, il est également ressorti de notre étude que la voiture autonome équipée d'un système V2X ne possède pas que des avantages et fait face à plusieurs limites et enjeux. Effectivement, au delà de l'aspect technique, des limites persistent sur les plans économique, éthique, ou encore juridique, qui l'empêche de prendre une place importante sur nos routes. En effet, des questions se posent par exemple sur la responsabilité en cas d'accident, sur le choix que ferait le véhicule entre deux situations d'ordre moral, en terme de sécurité face aux piratages informatiques, sur la cohabitation avec des véhicules non autonomes, sur ce que deviendraient les métiers de chauffeurs, les auto-écoles... Il est donc primordial de répondre à ces problématiques avant de voir les voitures autonomes se répandre à grande échelle. Ce qui paraît également être un enjeu dans le déploiement de cette nouvelle technologie est le fait que la population est encore réticente et sceptique à l'idée de monter un jour dans une voiture autonome et de laisser une machine en prendre le contrôle. En conclusion, la technologie V2X doit encore être étudiée pour être développée au sein de la société mais une chose est sûre, un jour viendra où les voitures n'auront plus besoin de conducteur.

Au cours de ce projet de physique nous avons dû surmonter quelques petites difficultés telles que le fait de produire un travail de groupe avec 6 personnes qui ne se connaissaient pas forcément initialement. Nous avons également dû apprendre à sélectionner les informations importantes et utiles pour notre projet et pour cela, nous avons dû nous documenter au travers de documents scientifiques comme des thèses ou encore des articles parfois rédigés en anglais. Pour finir, nous allons garder une bonne expérience de ce projet qui nous a donné une idée de ce que nous pourrions être amenés à faire en tant qu'ingénieurs à l'avenir. Enfin, nous aimerions remercier M. Bensrhair pour l'aide et le soutien qu'il nous a apporté pendant toute la durée du projet, et ce malgré les circonstances exceptionnelles dans lesquelles nous avons travaillé.

7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] 5GAA Automotive Association. (2020, février 25). 5GAA publishes C-ITS Communication System Profiles – 5G Automotive Association. Consulté le 18 mars 2020, à l'adresse <https://5gaa.org/news/5gaa-publishes-c-its-communication-system-profiles/>
- [2] Arcep. (2019). *Réseaux du futur: Les voitures connectées* (2). Consulté à l'adresse https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/reseaux_du_futur-voiture_connectees-fev2019.pdf
- [3] Cooperative, connected and automated mobility (CCAM). (2020, février 25). Consulté le 18 avril 2020, à l'adresse https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en
- [4] Florent Delmouly. (2018, septembre 19). Saga 2/3 : La voiture connectée, route semée d'embûches (...et de failles de sécurité). Consulté à l'adresse <https://www.riskinsight-wavestone.com/2018/09/saga-23-voiture-connectee/>
- [5] Gavois, S. (2019, mars 20). ITS-G5, C-V2X : l'Arcep dresse l'état des lieux du casse-tête de la voiture connectée. Consulté le 18 avril 2020, à l'adresse <https://www.nextinpact.com/news/107721-its-g5-c-v2x-arcep-dresse-etat-lieux-casse-tete-voiture-connectee.htm?skipua=1>
- [6] La voiture autonome : Le véhicule du futur. (2017, janvier 17). Consulté le 14 mars 2020, à l'adresse <https://www.objetconnecte.net/dossier-voiture-autonome/>
- [7] Les véhicules autonomes. (s. d.). Consulté le 18 avril 2020, à l'adresse <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/vehicules-autonomes>
- [8] Merdrignac, P. (2015). *Système coopératif de perception et de communication pour la protection des usagers vulnérables* (Thèse). Consulté à l'adresse <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01242774/document>
- [9] Office of Regulatory Analysis and Evaluation National Center for Statistics and Analysis. (2016). *Vehicle-To-Vehicle Communication Technology For Light Vehicles* (150). Consulté à l'adresse https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/v2v_pria_12-12-16_clean.pdf
- [10] Vehicle-to-Pedestrian Communication for Vulnerable Road Users: Survey, Design Considerations, and Challenges. (2019, janvier 17). Consulté le 28 février 2020, à l'adresse <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6359035/#B3-sensors-19-00358>
- [11] Voiture autonome. (s. d.). Consulté le 18 avril 2020, à l'adresse <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/voiture-voiture-autonome-15601/>
- [12] Voiture autonome : autonomisation des véhicules et de la conduite. (2019, juillet 18). Consulté le 12 mars 2020, à l'adresse <https://www.groupe-psa.com/fr/story/en-route-vers-la-voiture-autonome/>
- [13] What is Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication and why do we need it? (s. d.). Consulté le 18 avril 2020, à l'adresse https://www.3m.com/3M/en_US/road-safety-us/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/%7E/what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/?storyid=021748d7-f48c-4cd8-8948-b7707f231795
- [14] Wikipedia contributors. (s. d.). Véhicule autonome. Consulté le 12 mars 2020, à l'adresse https://fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9hicule_autonome

8. ANNEXE : INFORMATIONS GLOBALES SUR LE VÉHICULE AUTONOME

Un véhicule autonome est un véhicule automobile apte à rouler sans intervention d'un conducteur, grâce à un système de pilotage automatique. Il faut donc développer et produire un véhicule pouvant circuler sur la voie publique sans aucun danger et en contrôlant totalement le trafic sans aucune intervention humaine. On peut différencier cependant les véhicules autonomes et "semi-autonomes". Ces derniers disposent d'aides à la conduite ou de stationnements automatisés mais nécessitent tout de même un "semi-conducteur". Un véhicule autonome dispose donc d'un nombre conséquent de capteurs numériques tels que des radars, des lidars, des sonars, toutes sortes de caméras... Les données récupérées en permanence par ces capteurs doivent ensuite être traitées et analysées rapidement et efficacement par des processeurs et logiciels spécifiques (le pilote). Certains de ces derniers reconstituent une image en 3 dimensions de la situation routière en temps réel, grâce notamment à une reconnaissance des formes (obstacles, panneaux, distances, bâtiments, piétons, marquages au sol, ...) et donc une identification des éléments composant l'environnement de la voiture.

Le logiciel est constitué d'une intelligence artificielle programmée au préalable et ayant mémorisée de nombreux scénarios qu'elle pourra comparer une fois sur la route, pour adapter sa réponse aux circonstances. Ainsi, l'intelligence artificielle décide de l'action à réaliser sur les commandes du véhicule en fonction de ce qu'elle reconnaît. Ces commandes sont elles-mêmes réalisées par servocommandes sur le volant, les pédales et autres interfaces pour enclencher ou désenclencher le mode automatique de conduite du véhicule. Il faut savoir que tous les capteurs ainsi que le logiciel sont redondants pour mettre en relation toutes les informations et transmettre le meilleur signal possible.

Il y a évidemment des avantages et des inconvénients à adopter ce type de véhicule : cela permettrait une réduction des accidents (temps de réaction diminué par exemple) puisqu'il est prouvé que 90% des accidents de la route sont liés à une erreur humaine. Les embouteillages seraient réduits grâce à une meilleure gestion de la circulation (système de communication entre véhicules et donc homogénéisation presque instantanée du trafic). Le fait de ne pas avoir son permis ou de conduire dans un état non approprié (fatigue, alcool, drogue, maladie) ne seraient plus un problème. Les parkings seraient beaucoup mieux gérés sans pour autant faire attendre les gens puisque la voiture pourrait déposer les passagers et aller se garer plus loin toute seule. On pourrait également prévoir des livraisons automatiques mais aussi une potentielle augmentation des limites de vitesse ainsi qu'une réduction des panneaux de signalisation sans pour autant augmenter le nombre d'accidents ou de délits routiers. Par ailleurs, l'efficacité énergétique n'étant pas négligeable, on réduirait la pollution. Cependant, certains défis restent à résoudre comme notamment la responsabilité juridique en cas d'accident, la réticence possible des utilisateurs à laisser le contrôle de leur voiture à des machines, la possibilité de piratages informatiques ou encore l'obéissance aux signaux et injonctions des agents de police. Il faudrait également revoir tout le système d'assurance pour ce type de véhicules.

L'évolution rapide des technologies permet de développer des prototypes de plus en plus réalistes et proches de l'objectif. Depuis les années 1970, les tests ne cessent de se succéder entre les constructeurs automobiles, les laboratoires de robotique, les agences de recherche dans ce domaine et même la Commission européenne. Malgré cette activité intense, c'est seulement à partir de 2010 que le sujet se médiatise c'est-à-dire lorsque Google annonce sa première voiture autonome, la "Google car". Et aujourd'hui, de nombreux projets sont en cours comme le programme AVA ("Autonomous Vehicle for All") du groupe PSA ou encore Renault qui investit dans les ADAS ("Advanced Driver Assistance Systems"). Nous n'avons pas de date précise concernant la mise sur le marché de véhicules autonomes, mais certains pays comme la Finlande y pensent fortement, notamment pour faire évoluer les transports en commun.

Néanmoins, il faudra également modifier la législation lors de la commercialisation de ce type de véhicules et ce, dans tous les pays. Aux niveaux européen et international, ces véhicules sont classés selon 6 niveaux, du niveau 0 (aucune automatisations, conduite manuelle) au niveau 5 (conduite complètement autonome dans toutes circonstances). Au fur et à mesure du passage des niveaux, on retrouve par exemple le système d'antiblocage des roues (ABS) ou le régulateur de vitesse au niveau 1, le centrage automatique dans la voie (niveau 2), la trajectoire gérée automatiquement et la conservation des distances de sécurité dans les embouteillages au niveau 3. Au niveau 4, le conducteur est dispensé mais les voitures restent à l'état de prototypes. Leur mise sur le marché représente un considérable défi technologique puisque les IA doivent s'adapter à la diversité et la complexité des comportements des véhicules "classiques" sur les routes. Il faut gérer la cohabitation, si l'on peut dire.



Illustration 9: Voitures autonomes Renault Zoé sur le campus du Madrillet, juste devant l'INSA.

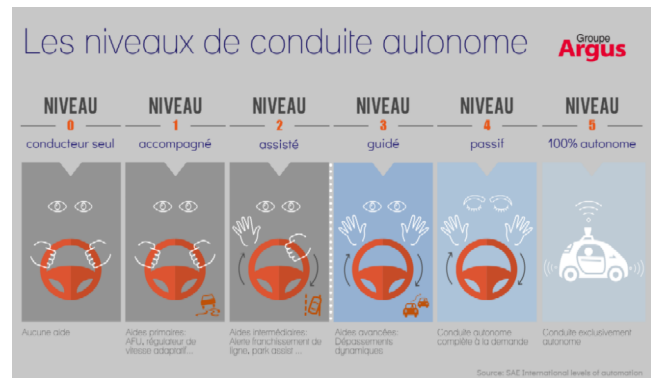


Illustration 8: Les niveaux de conduite autonome.

Il faut également gérer l'optimisation de l'espace consacré au "cerveau" de la voiture car les unités informatiques nécessaires sont trop volumineuses pour être embarquées sous le capot d'une voiture. La miniaturisation des composants est donc obligatoire, mais tout en conservant la performance des algorithmes. Il est également indispensable de mettre en place un système de cybersécurité très performant afin d'éviter toute prise de contrôle malveillante du véhicule. De nouvelles normes et de nouvelles infrastructures seront aussi nécessaires.

Ainsi, les voitures sont de plus en plus connectées et la conduite autonome devient une réalité. Aujourd'hui, les constructeurs automobiles sont donc confrontés à un enjeu majeur : comment faire confiance aux informations reçues par chaque véhicule ? Dans cette perspective, la communication V2X constitue un facteur clé dans la réussite de la voiture autonome.