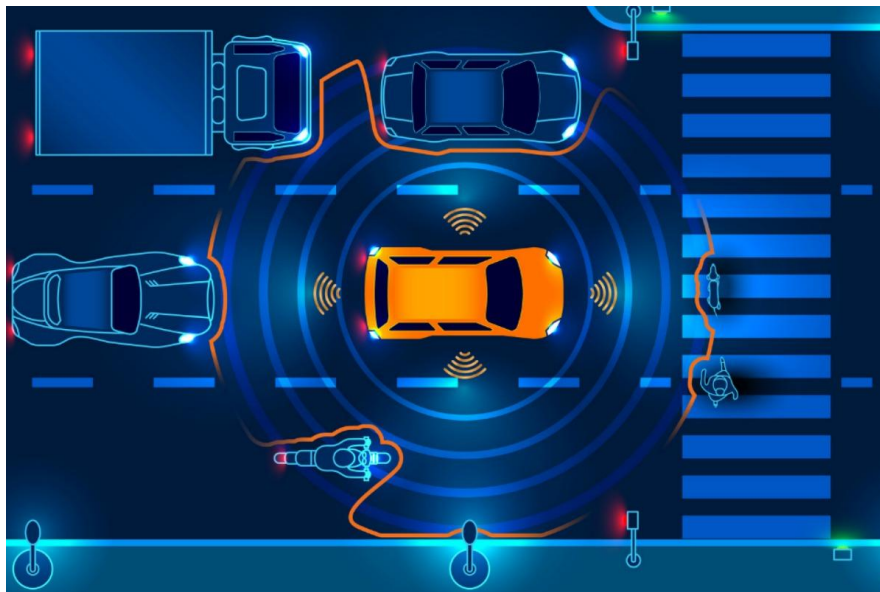


Véhicule Autonome : Systèmes coopératifs/Communication



Étudiants :

Jean LECORDIER
Florent MARMIN
Hugo SIMOES MARICATO

Clément LEFEBVRE
Lisa PICARD
Tairi ZHENG

Enseignant-responsable du projet :

Abdelaziz BENSRAHAI

Date de remise du rapport : 17/06/2018

Référence du projet : STPI/P6/2018 – 3

Intitulé du projet : Véhicule Autonome : Systèmes coopératifs/Communication

Type de projet : Veille technologique, recherche documentaire

Objectifs du projet :

Apprendre à faire des recherches documentaires, sur internet, dans des ouvrages et des publications scientifiques. Etablir un état de l'art des technologies actuelles et à venir de communication et des coopération des véhicules autonomes. Présenter un cas d'usage des outils V2X, et s'interroger sur les enjeux de l'utilisation des données et leur sécurité.

Mots-clefs du projet : V2X, systèmes coopératifs, communication.

Table des matières

Notations	4
Introduction	5
1 Etat de l’art	7
1.1 Le véhicule autonome	7
1.2 Les systèmes V2X	8
1.3 Moyens de communication	9
1.4 Cas d’usage : le projet SCOOP	9
2 Le fonctionnement des technologies V2X et FCD	12
2.1 La technologie V2V	12
2.2 La technologie V2I	13
2.3 La technologie V2P	13
2.4 La technologie FCD	14
3 Les systèmes	15
3.1 Le standard DSRC	15
3.2 GNSS	15
3.3 QZSS	15

4 Les réseaux, normes et protocoles	17
4.1 La stratégie C-ITS	17
4.2 La norme 4G ou LTE-Advanced	17
4.3 La norme 5G	17
4.4 La technologie WiMAX	18
4.5 Le protocole ZigBee	18
4.6 Les réseaux Ad-Hoc	19
5 Les enjeux liés à la communication et à la voiture autonome	20
5.1 Enjeux sécuritaires	20
5.2 Enjeux éthiques	21
5.3 Enjeux économiques	21
5.4 Enjeux techniques	22
Conclusions	23
Bibliographie	24

Notations et Acronymes

CAM : Cooperative Awareness Message
DENM : Decentralized Environmental Notification Message
DSRC : Dedicated short range communications
FCD : Floating cellular data
GNSS : Global navigation satellite system
GPS : Global positioning system
LIDAR : Light detection and ranging
LTE : Long term evolution
MIMO : Multiple input multiple output
PKI : Public key infrastructure
QZSS : Quasi-Zenith satellite system
SAE : Ex-Society of Automotive Engineers
STI et ITS : Système de transports intelligents
SUV : Sport utility vehicle
UBR et ITSS-R : Unité de bord de route
UEV : Unité embarquée dans les véhicules
V2D : Vehicle to device
V2G : Vehicle to grid
V2I : Vehicle to infrastructure
V2P : Vehicle to pedestrian
V2X : Vehicle to everything
VaNET : Vehicular AdHoc Network
WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

Introduction

Depuis la crise automobile de 2012, l'industrie de l'automobile se porte mieux, selon l'Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles, 2.11 millions de voitures neuves se sont vendues en France en 2017, soit 4 voitures par minute.

Une telle renaissance de l'automobile a été possible grâce à de nouvelles technologies qui sont apparues en grand nombre dans les nouvelles voitures. Ces technologies, plus performantes et à un prix moins élevé apportent un confort au conducteur qu'il n'avait pas toujours auparavant.

Néanmoins toutes ces technologies ne parviennent pas à faire diminuer le nombre de victimes sur les routes, chaque minute ce sont deux personnes qui meurent sur les routes. Parmi tous ces accidents, 90% seraient liés à l'utilisateur.

Ainsi, les constructeurs automobiles, motivés par la baisse de ce nombre, ont décidé de mettre en place la voiture autonome, voiture ressemblant aux voitures actuelles mais qui sait se déplacer de façon sécuritaire pour les passagers comme pour les autres usagers de la route.

Ces voitures, remplies de capteurs, sont chaque jour un peu plus performantes : elles peuvent se repérer dans l'espace au centimètre près, elles peuvent détecter des accidents, communiquer entre elles et avec les infrastructures routières. Ces voitures sont aujourd'hui si performantes que certaines sont d'ores et déjà en conditions réelles parmi les autres voitures dans un but expérimental.

Dans ce rapport nous allons voir quels sont les types de communications de la voiture autonome. Pour cela, nous ferons dans un premier temps un état de l'art des communications de la voiture autonome suivi par un approfondissement de ces technologies pour terminer sur un questionnement éthique mais également sécuritaire concernant ces communications.

Méthodologie et organisation du travail

Chaque semaine, nous nous sommes réunis avec M. BENSRAHAI, notre professeur encadrant. Les deux premières séances ont été consacrées à la présentation du sujet du projet, incluant ce que le professeur attendait de nous à la fin ainsi qu'à l'organisation des dernières séances (répétitions, avancées du rapport, ...).

Nous avons également visité le laboratoire LITIS, où les chercheurs et doctorants nous ont présenté leurs thèmes de recherches, du traitement de très grandes quantités de données à la création de micro-processeurs temps-réel.

Concernant notre méthode de travail, nous avons dans un premier temps effectué des recherches sur le thème du véhicule autonome et des systèmes de communication et de coopération ; étant donné que c'était la première fois que nous abordions ce sujet, nous n'avions que des a priori. Afin de diriger nos recherches nous avons établi le plan du rapport et réparti les tâches en binômes. Les semaines suivantes ont permis de commencer la rédaction du rapport ; comme nous utilisons des outils de collaboration et que nous nous réunissions toutes les semaines, il a été simple d'en suivre l'avancement et de s'échanger régulièrement des informations.

Chapitre 1

Etat de l'art

Les véhicules de demain se déplaceront sans aucun doute sans conducteur. Ils seront équipés de nouveaux systèmes leur permettant de fonctionner en toute autonomie, c'est-à-dire de percevoir leur environnement, de communiquer entre eux mais aussi avec l'infrastructure et de prendre des décisions.

Ces technologies sont regroupées dans ce que l'on appelle les Systèmes de Transports Intelligents (STI) et permettent d'améliorer la mobilité des personnes, la sécurité, l'efficacité et la fiabilité.

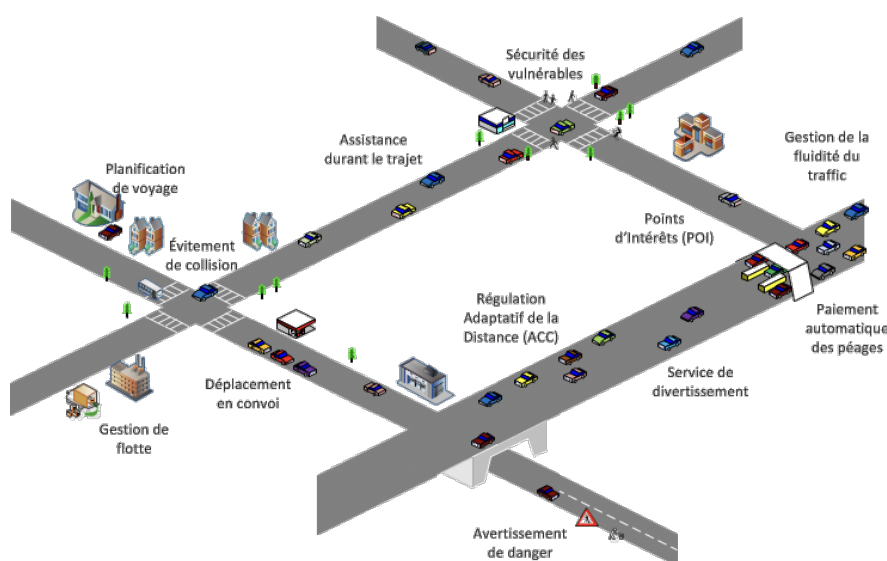


FIGURE 1.1 – Exemples de STI

1.1 Le véhicule autonome

Autonome, des racines grecques auto (pour soi-même) et nome- (pour loi) signifie “qui est régi par ses propres règles”, c’est à dire qu’un véhicule autonome doit être capable de réagir selon des règles, des algorithmes prédéfinis. « Une voiture dite autonome est équipée d’un système de pilotage automatique qui lui permet de circuler sans intervention humaine dans des conditions de circulation réelles. »

Le véhicule autonome est donc équipé de capteurs LIDAR (light detection and ranging pour “détection par la lumière et estimation de distances”), de radars et caméras qui lui permettent de visualiser l’environnement qui l’entoure et de différents systèmes de télécommunication pour échanger des informations à courtes et longues distances.

Afin de différencier les différents types d’automation pour un véhicule, la SAE (ex-Society of Automotive Engineers) qui est une association composée de plus de 128 000 ingénieurs et experts du domaine automobile et aéronautique, les a classifiés en 6 catégories, fonction du contrôle accordé aux systèmes de conduite :

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system (“system”) monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Copyright © 2014 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed provided SAE International and J3016 are acknowledged as the source and must be reproduced AS-IS.

FIGURE 1.2 – Exemples différents niveaux d’automation selon la SAE

Ainsi, le niveau d’automation 5 (contrôle total par la machine) est celui que les chercheurs et entreprises automobiles espèrent atteindre dans les années à venir.

1.2 Les systèmes V2X

Ces véhicules seront équipés de nouveaux dispositifs leur permettant de transmettre et de recevoir de l’information, en provenance des autres véhicules et de l’infrastructure. L’infrastructure actuelle (Wi-Fi, réseaux cellulaires, ...) et à venir sera donc le canal de communication privilégié des véhicules autonomes. On appelle cet échange d’information le V2X, pour vehicle to everything.

La technologie de communication véhiculaire progresse rapidement, permettant la connexion entre véhicules via des réseaux sans fil. La bande passante et la portée de la communication sans fil augmentent rapidement tandis que le temps de latence est considérablement réduit. Par exemple, la portée des communications dédiées à courte portée (DSRC) peut aller jusqu’à 1000 m en terrain plat, ce qui permet à un véhicule de se connecter aux véhicules à proximité, même au-delà de la ligne de vue et du champ de vision.

1.3 Moyens de communication

Lorsqu'un véhicule communique avec un autre véhicule, on parle alors de V2V (*vehicle to vehicle*). Il permet d'alerter les autres véhicules d'un problème ou d'un danger imminent (changement de trajectoire, freinage d'urgence, ...) afin que ces derniers puissent prendre les mesures nécessaires. La vitesse, l'angle du volant ou l'accélération sont des exemples d'informations échangées.

En plus des capteurs installés sur le véhicule (vitesse, accélération, angle de direction, GPS) et des systèmes de vision (LIDAR, radar et caméras), il y a les systèmes de communication avec différentes spécificités (portée, puissance, fréquence, ...)

D'autres moyens de communication complémentaires au Wi-Fi 802.11p sont également développés. Ces systèmes de communication V2X seront utilisés pour faire communiquer une voiture avec un piéton (V2P), un feu rouge (V2I), le réseau électrique (V2G) ou encore tout appareil connecté au sein de la voiture (V2D).

V2P : application ou système intégré au sac à dos/vélo du piéton permettant d'envoyer des informations sur l'état du piéton ;

V2I : communication utilisant le Wi-Fi 802.11p permettant d'informer la voiture sur l'état du feu et sur la durée de cet état permettant alors une adaptation de la vitesse du véhicule et ainsi une amélioration de la fluidité ;

V2G : (Vehicle to Grid) échange d'électricité via la route entre les voitures électriques (lorsqu'une voiture a besoin d'électricité, elle fait une demande et les voitures garées lui envoient cette énergie). Le V2G pourrait aussi être utilisé pour puiser dans les batteries des véhicules l'énergie nécessaire pour pallier les périodes forte consommation (heures de pointe, conditions climatiques, ...)

V2D : (Vehicle to Device) échange d'informations entre la voiture et les appareils au sein et autour du véhicule (smartphones, ordinateurs, etc ...), cette application est particulièrement adaptée aux usagers vulnérables (cyclistes et autres deux-roues).

1.4 Cas d'usage : le projet SCOOP

SCOOP est un projet européen de déploiement de systèmes de transports intelligents coopératifs. Lancé en France en 2014 par le Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, il rassemble également les collectivités locales, des acteurs routiers et les constructeurs automobiles PSA et Renault ainsi que des centres de recherche.

Renault et PSA vont équiper 3000 véhicules d'un modem, de deux antennes, de capteurs et d'un logiciel permettant la communication entre les véhicules et l'environnement : 2000 km de routes répartis en cinq sites (Ile-de-France, A4, Isère, rocade de Bordeaux et Bretagne)

Améliorer la sécurité routière et améliorer la gestion du trafic grâce à la communication entre les véhicules est un des objectifs de SCOOP. C'est pourquoi les acteurs se sont d'abord concentrés sur les alertes, comme l'alerte de travaux, d'obstacles sur les routes (animaux, intervention humaine) ainsi que des événements dangereux (bouchon, verglas, etc.)

1.4.1 Composants du projet

Le projet ne comportant pas de partie automatisée, l'information étant reçue par le conducteur, il a fallu équiper les véhicules de dispositifs permettant de communiquer entre eux et avec l'infrastructure. On distingue quatre composants principaux :

Les Unités de Bord de Route (UBR ou ITSS-R), qui permettent une communication bidirectionnelle entre l'infrastructure et les véhicules. Elles sont reliées à un centre de gestion de trafic distant.

Les Unités Embarquées dans les Véhicules (UEV ou ITSS-V), elles-mêmes composées de :

- PSA, ce sont les véhicules neufs vendus à des particuliers ;
- UEV Renault, les véhicules neufs vendus en flotte à des entreprises ;
- UEV gestionnaires, ont en un rôle d'UBR mobile.

Ce sont des stations ITS reliées à une interface homme-machine, capables de transmettre automatiquement des informations aux autres ITS ou manuellement par le conducteur via l'IHM.

La Plateforme SCOOP (ITSS-C), assure le lien entre les unités de bord de route et le système d'aide à la gestion de trafic. Elle envoie des informations aux équipements coopératifs déployés (les UBR, ou les stations dans les véhicules des gestionnaires) mais ne communique pas vraiment avec les véhicules des particuliers. Elle traite les informations reçues des stations bord de route et les met à disposition du gestionnaire.

Le serveur PKI, (Public Key Infrastructure) a pour objectif de sécuriser les échanges de données entre les stations ITS à l'aide de certificats. Une infrastructure à clés publiques permet de garantir la confidentialité, l'authentification, l'intégrité et la non-répudiation des données. Ainsi les informations échangées, exposées à la menace de cyberattaques, sont protégées.

1.4.2 Echange de l'information

Les informations échangées d'un véhicule à l'autre et entre les véhicules et l'infrastructure routière transitent par la fréquence WiFi ITS G5 à 9,5 GHz (802.11p).

Les messages émis peuvent être répartis en deux catégories :

- Les messages broadcast, sont diffusés dans une zone géographique précise sans destinataire prédéfini (les véhicules circulant dans la zone recevront probablement le message). Les messages véhicule/infrastructure CAM et DENM sont de cette catégorie.
- Les messages unicast, ont quant à eux un destinataire prédéfini. Ces messages n'utilisent, en général, pas le protocole ITS G5.

Comme dit précédemment, il y a deux types de messages véhicule/infrastructure.

- Les messages CAM (Cooperative Awareness Message) permettent de situer en temps réel les véhicules et les éléments de l'infrastructure coopérative entre-eux, communiquer la position et l'état des véhicules. Ces messages sont émis de façon régulière par les unités embarquées dans les véhicules aux autres stations ITS. Le message est composé de données obligatoires et conditionnelles.

- Les messages DENM (Decentralized Environmental Notification Message) sont des messages d'alerte émis de façon ponctuelle (lors d'un événement particulier). Leur génération est automatique (en fonction du retour d'information des capteurs) ou peut être actionnée manuellement par le conducteur ou un agent via une IHM.

Les messages reçus peuvent être ainsi relayés aux autres ITSS, si besoin est. Ils contiennent des informations sur la circulation du véhicule (position, vitesse, direction) afin de caractériser plus précisément les conditions de trafic ; des données produites par le véhicule lui-même (chocs, etc.). Enfin, des données fournies par le conducteur afin de détecter plus efficacement les événements.

Chapitre 2

Le fonctionnement des technologies V2X et FCD

Les technologies V2X, FCD et C-ITS sont utilisées pour permettre la communication entre les véhicules, les infrastructures, les piétons, c'est-à-dire tout ce qui entoure le véhicule.

Dans cette partie, nous allons commencer par étudier la technologie C-ITS. Puis, nous expliquerons la technologie V2X. Cependant, comme la V2X compte de nombreuses technologies, nous allons en voir trois. La dernière technologie que nous allons étudier est la FCD.

2.1 La technologie V2V

Les recherches concernant la technologie V2V, Vehicle-to-Vehicle, ont débuté en 2006. Elle permet de partager la position d'un véhicule ainsi que ses déplacements avec d'autres véhicules équipés. Celle-ci ne fonctionne qu'à courte distance, mais elle sert à transmettre les intentions des autres conducteurs. Elle permettra donc entre autres d'optimiser l'ensemble du trafic routier et de réduire les embouteillages.

La technologie V2V utilise plusieurs systèmes et réseaux pour fonctionner. D'une part, elle nécessite l'utilisation d'antennes et de capteurs, de la vision à 360°, mais aussi du système GNSS que nous expliquerons plus tard. Elle se sert également de l'intelligence du véhicule. Dans le futur, il semble évident que la 5G prendra une place très importante dans la technologie V2X mais également dans tout ce qui concerne les objets connectés. La technologie V2V restera néanmoins compatible avec la 2G, la 3G et la 4G.

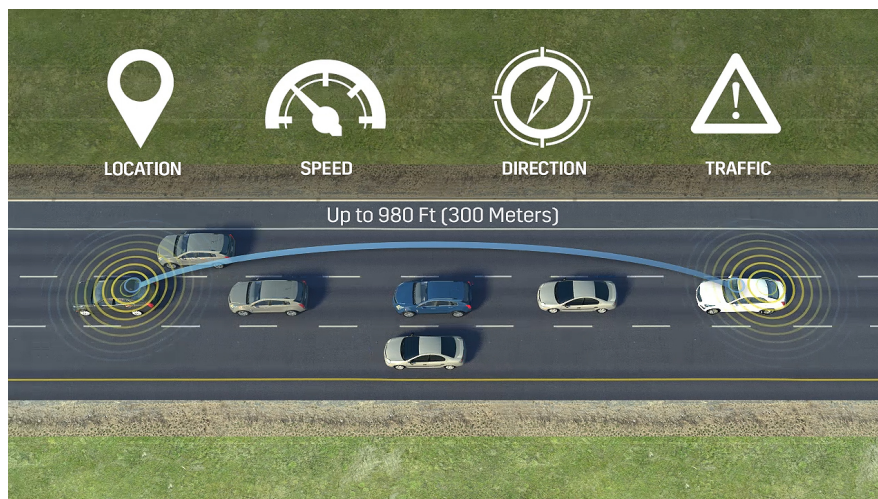


FIGURE 2.1 – Exemple de communication entre deux véhicules

Tous ces systèmes servent à collecter et à analyser des données envoyées directement des véhicules. Ces données sont fréquemment mises à jour, c'est-à-dire au moins tous les 100 ms. Ces données sont analysées et utilisées pour donner des informations sur le trafic aux conducteurs et l'alerter en cas de danger potentiel grâce à des vibrations du siège conducteur, des sons ou des icônes sur l'écran de la voiture. Parmi les dangers potentiels, on compte les comportements inattendus des piétons ou des vélos, la vision de nuit, les mauvaises conditions météorologiques, les travaux sur les routes, les ralentissements dangereux ou encore les embouteillages. La vision à 360° permet aussi d'alerter le conducteur lorsqu'un véhicule est en dehors de son champ de vision, lors d'un changement soudain de voie ou d'un dépassement dangereux.

2.2 La technologie V2I

En complément de la technologie V2V, la V2I, Vehicle-to-Infrastructure, permet la communication entre les véhicules et les infrastructures telles que les feux tricolores ou les panneaux de signalisation. Elle communique également les signalisations concernant les tunnels et les ponts, comme les limitations de vitesse, les embouteillages et les hauteurs de véhicule maximales autorisées. Cette technologie utilise elle-même une autre technologie, la FCD, que nous verrons plus tard.

2.3 La technologie V2P

La dernière technologie de la V2X que nous présenterons dans ce rapport est la technologie V2P, Vehicle-to-Pedestrian. Cette technologie a l'avantage d'alerter les conducteurs de véhicules autonomes mais aussi les piétons des potentiels dangers d'accidents qu'il existe. Ceux-ci concernent les passages piétons, comme par exemple le fait qu'un piéton traverse le passage piéton de travers et non tout droit, ou les intersections, où le piéton peut ne pas être très visible.

En cas de danger quasi-immédiat, une alerte sous forme de signaux visuels et sonores est envoyée sur l'écran du véhicule et sur le téléphone du piéton. De plus, le téléphone du piéton envoie au véhicule son activité : Le conducteur peut alors savoir à quel point le piéton risque de ne pas être vigilant, en sachant s'il écoute de la musique, envoie un message, ou appelle quelqu'un.

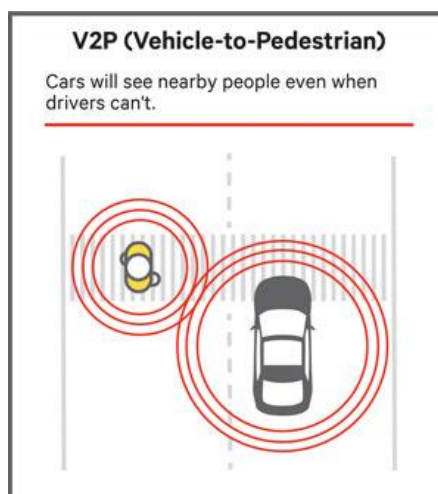


FIGURE 2.2 – Le piéton (son équipement) communique avec la voiture sa présence sur le passage protégé

Cette technologie utilise d'une part le système GPS, mais aussi le système QZSS et le DSRC que nous détaillerons plus tard.

2.4 La technologie FCD

Comme évoqué précédemment, la technologie FCD, Floating Car Data, est entre autres utilisée par la technologie V2I. Celle-ci collecte les données de localisation et de vitesse, mais aussi le sens de déplacement des véhicules.

Toutes ces données sont récoltées à l'aide de plusieurs réseaux. On peut citer le GPS qui communique avec le fournisseur de services, le réseau cellulaire GPRS, General Packet Radio Service, mais aussi le téléphone portable du conducteur qui devient une sonde lorsqu'il est allumé.

Ces données servent ensuite à connaître le trafic sur les réseaux routiers, à calculer les temps de parcours et à générer des rapports précis sur l'état du trafic, par exemple en détectant les embouteillages.

Chapitre 3

Les systèmes

Dans cette deuxième partie, nous allons nous intéresser à deux systèmes qui permettent aux véhicules autonomes de communiquer. Tout d'abord, nous allons évoquer les DSRC, ensuite le GNSS, puis nous allons expliquer ce qu'est le QZSS.

3.1 Le standard DSRC

Les DSRC, Dedicated Short Range Communications, sont des systèmes de communication sans fil à courte ou moyenne portée : La portée maximale est de 300m. Ces communications sont conçues pour les véhicules intelligents et permettent une communication à sens unique ou à double sens. Le débit des DSRC est inférieur à 100 Mb/s.

3.2 GNSS

Le système GNSS, Global Navigation Satellite System, est un système de positionnement par satellites qui a originellement été développé par les Etats-Unis pour un usage militaire. Les avantages de ce système sont sa couverture mondiale et sa précision décimétrique qui assure la sécurité du système.

Le système repose sur une constellation de satellites artificiels qui fournissent grâce à un récepteur positionné dans le véhicule des données utiles à un utilisateur. Celles-ci comprennent la position 3D du véhicule, la vitesse du véhicule et l'heure. Grâce à ces données, le système peut calculer la distance et la trajectoire entre ces deux satellites, c'est-à-dire le satellite virtuel et le véhicule.

3.3 QZSS

Le système QZSS, Quasi-Zenith Satellite System, est un système en cours de développement par l'agence spatiale japonaise JAXA. Les premiers essais du système ont eu lieu en 2010.

Le système repose sur l'utilisation de signaux émis par trois satellites qui circulent sur une orbite. Il permettra un positionnement à quelques centimètres près.

Chapitre 4

Les réseaux, normes et protocoles

Dans cette troisième partie, nous allons nous concentrer sur les réseaux, les normes et les protocoles qui permettent aux véhicules autonomes de communiquer. Nous allons voir quels réseaux sont déjà en place et lesquels remplaceront.

4.1 La stratégie C-ITS

La technologie C-ITS, Cooperative Intelligent Transport Systems, permet aux conducteurs et aux traffic managers, qui sont les responsables de l'acquisition, de partager les informations et de les utiliser pour coordonner leurs actions.

4.2 La norme 4G ou LTE-Advanced

La 4G est une norme correspondante à la norme LTE-Advanced (Long Term Evolution). Il s'agit d'une norme définie par l'organisme de normalisation 3GPP. La première version s'est achevée en 2011, laissant place à la 4G que l'on connaît. La LTE-Advanced permet de fournir des débits supérieurs à 1 Gb/s à l'arrêt et supérieurs à 100 Mb/s lorsque le véhicule est en mouvement, même à plus de 120 km/h, contrairement au WiMax mentionné plus tard.

LTE-Advanced est basée sur le protocole IPv6, Internet Protocole version 6 : Il s'agit d'un protocole réseau sans connexion standardisé en 2017, qui permet de fournir bien plus d'adresses IP que le protocole IPv4, saturé.

4.3 La norme 5G

La 5G a connu ses premiers tests en 2018, avec un déploiement prévu dès 2020. Elle est 100x plus rapide que la 4G et fournira donc un débit allant de 1 Gb/s à 10 Gb/s. Cette augmentation drastique du débit va permettre de compenser la multiplication des véhicules connectés. Cette norme repose sur les ondes millimétriques, qui couvrent des

hautes fréquences allant jusqu'à 300 GHz mais qui ont l'inconvénient d'être instable et à courte portée. De plus, on ne connaît pas encore les effets de ces ondes sur la santé.

Outre le développement des véhicules autonomes, la 5G permettra de répandre le data mining, le cloud computing et l'interopérabilité d'objets communicants. Elle permettra alors aux appareils connectés de communiquer entre eux.

Concernant la sécurité de cette norme, on connaît à présent les solutions utilisées pour contrer les défaillances possibles de la 5G. La première est l'utilisation des Small Cells : il s'agit d'une grosse antenne 5G éloignée des centres urbains qui distribue un signal à plusieurs antennes plus petites situées en plein centre-ville. Les Small Cells évitent donc la surcharge. La deuxième solution apportée est l'utilisation des MIMO, Multiple-Input Multiple-Output : Il s'agit d'utiliser des centaines de petites antennes afin de multiplier les entrées et les sorties, renforçant ainsi le signal et réduisant les interférences.

4.4 La technologie WiMAX

La technologie WiMAX, Worldwide Interoperability for Microwave Access, permet une communication sans fil souvent utilisée comme système de transmission et d'accès à Internet à haut débit sur une zone géographique assez étendue. Elle est notamment utilisée dans les zones métropolitaines au niveau des réseaux de transport et de collecte.

Cette technologie est basée sur la norme IEEE 802.16e. Celle-ci permet le déplacement dans l'intégralité d'une zone de couverture à une autre sans déconnexion lorsque le véhicule est arrêté ou à une vitesse inférieure à 120 km/h, avec une portée de 3,5 km. Elle est utilisée au détriment des normes IEEE 802.16d et 802.16a qui ne permettent qu'une liaison fixe entre émetteur et récepteur. Elle utilise aussi le protocole ARQ qui permet d'améliorer la performance de transmission.

La technologie s'adresse principalement à des réseaux métropolitains tels que HiperMAN, High Performance Radio Metropolitan Area Network, créé par ETSI, qui met en oeuvre des spécifications pour le développement et l'interopérabilité des systèmes d'accès par liaison sans fil fixe.

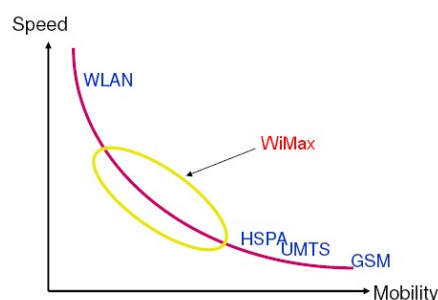


FIGURE 4.1 – Position du WiMAX sur l'échelle mobilité, débit

4.5 Le protocole ZigBee

Ce protocole permet la communication d'équipements personnels ou domestiques équipés de petits émetteurs radios à faible consommation. Il s'agit d'un protocole lent

avec une portée courte, cependant il consomme peu, il a une grande fiabilité et un prix de revient faible. Le protocole ZigBee est basé sur la norme IEEE 802.15.4.

4.6 Les réseaux Ad-Hoc

Une des particularités de ces réseaux sans fil, appelés WANET, MANET ou encore VANET pour Wireless, Mobile ou Vehicular AdHoc Network, est de pouvoir s'organiser sans infrastructure définie préalablement, les équipements réorganisent leurs liens automatiquement. De plus, les entités peuvent communiquer entre elles en créant des routes grâce à un protocole de routage. C'est ce protocole qui permet de construire des systèmes de communication autonomes et dynamiques, nécessaires aux véhicules autonomes ou aux fonctionnalités d'aides à la conduite des autres véhicules. D'autre part, chaque entité du réseau peut jouer différents rôles, et peut interagir avec d'autres entités en étant émetteur ou récepteur.

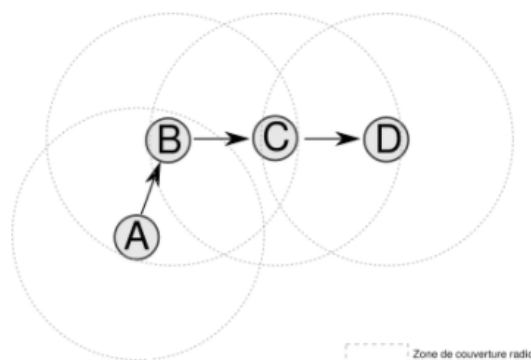


FIGURE 4.2 – Principe de fonctionnement d'un réseau VANet par propagation

Cependant, les réseaux ad hoc présentent plusieurs problèmes. Il y a une possibilité de perte de données et de routes entre les entités et, par conséquent, la sécurité de ces réseaux est limitée. De plus, des interférences peuvent se produire, ce qui pose problème dans le cas des véhicules autonomes.

Chapitre 5

Les enjeux liés à la communication et à la voiture autonome

5.1 Enjeux sécuritaires

Les voitures connectées devraient représenter une avancée majeure dans le domaine de la sécurité routière, pas uniquement pour les automobilistes mais pour tous les usagers de la route. En effet, leur nombre important de capteurs et leur puissance de calcul élevée vont leur permettre de réagir beaucoup plus vite qu'un conducteur classique à un événement imprévu. De plus, les technologies de communications vu précédemment permettront de connaître les dangers avant même de les voir.

Qui dit voiture connectée, dit bien sûr communication, et ouverture au monde. Des failles de sécurités au sein des systèmes sans fils représenteraient un risque réel pour les utilisateurs. On a notamment pu le voir lors des démonstrations faites en 2015 par des chercheurs sur des véhicules de la marque Jeep. Ils ont réussi, à distance, à actionner la climatisation, les essuie-glaces, contrôler l'autoradio, et, plus grave, couper le moteur sur l'autoroute ou encore prendre le contrôle total de la voiture, mais uniquement en dessous de 8 kilomètres heure. Cependant, ils sont parvenus à passer outre cette limite en 2016 en connectant directement un pc portable à la voiture. Il leur a ensuite été possible d'utiliser la voiture un peu comme une voiture téléguidée. Si un accès physique au véhicule est nécessaire pour ce piratage en particulier, il est bien visible que des failles exploitables à distance sont d'ores et déjà présentes dans les véhicules en circulation, et ces enjeux ne vont devenir que plus important au fur et à mesure que les voitures connectées vont se répandre.

Face à ce problème, Waymo tente de prendre une approche différente, en essayant de créer une voiture moins connectée, qui serait le plus possible hors-ligne. En effet, tant que la voiture ne communique pas, elle n'est pas vulnérable. Cependant, cette solution ne semble viable qu'à court terme, car limiter les connexion limite aussi grandement l'apport possible des véhicules connectés. Cette approche implique que les informations ne seraient pas reçues en temps réel, ce qui est particulièrement dérangeant sur le plan sécuritaire.

5.2 Enjeux éthiques

Bardés de capteurs, les véhicules connectés pourraient se transformer en de véritables centres de données produisant plusieurs dizaines de gigaoctets de données par jour. Dès lors, il faudra étudier quelles données seront détruites et lesquelles seront conservées, mais surtout ce qui sera fait à partir des données conservées. Il faudra en effet que les données conservées portent le moins possible atteinte à la vie privée. Dans le cas contraire, cela pourrait constituer un frein au développement des voitures connectées auprès du grand public.

Les véhicules connectés auront entre « leurs mains » les vies de tous les usagers de la route, que ce soient leurs passagers, les autres automobilistes, mais aussi les usagers vulnérables comme les piétons, cyclistes ou motards. Dès lors, il faudra les programmer pour qu'elles puissent réagir lors des situations d'urgence, et surtout, comment et quand elles doivent réagir. Le but des voitures connectées étant de réduire au maximum le nombre d'accidents, ceux-ci resteront dans certains cas inévitables, surtout dans les zones où peu de circulation est présente et donc moins d'informations sont recueillies, mais aussi tant que des véhicules classiques et non communicants seront en circulation.

5.3 Enjeux économiques

Les véhicules connectés risquent de bouleverser l'économie des transports, des constructeurs et équipementiers aux consommateurs en passant par tous les services liés à l'entretien. En effet, l'ensemble des capteurs, alliés à la communication du véhicule avec le monde extérieur et la rapidité des calculs, permettra de réduire considérablement le nombre d'accrochages. Les revenus des assurances devraient donc diminuer, de même que les frais liés aux réparations. De plus, grâce à leur communication, elles seront en mesure de conduire plus sagement en permettant d'éviter les accélérations et freinages brusques. Les véhicules connectés s'useront donc globalement moins que des véhicules classiques. Par conséquent, leur longévité sera plus importante, ce qui devrait diminuer les ventes de nouveaux véhicules.

En revanche, plus les technologies avanceront, plus les véhicules seront exposés à l'obsolescence programmée. Il faudra garantir la rétrocompatibilité des nouvelles technologies avec celles existantes afin de ne pas rendre les anciennes voitures moins sûres ou totalement incapables de communiquer. De plus, les technologies de pointe sont forcément moins éprouvées et donc plus exposées aux pannes, avec des risques bien plus importants que sur une voiture traditionnelle qui ne peut pas influencer directement sur sa conduite. Ces risques font que les véhicules d'occasion plus anciens pourraient représenter un risque plus important et donc subir une dépréciation plus importante. Cela représente donc un coût supplémentaire pour les possesseurs de véhicules connectés. De plus, cela veut dire que la sécurité des usagers de la route serait toujours variable en fonction des moyens des propriétaires, comme c'est déjà le cas aujourd'hui avec des voitures haut-de-gamme et récentes toujours plus sûres et mieux équipées.

Les technologies de communications peuvent également servir à contraindre les propriétaires de véhicules connectés à les faire entretenir ou réparer dans des centres agréés sous peine de perdre certaines fonctions. C'est par exemple le cas chez Tesla, au

moins aux États-Unis. En effet, les véhicules de cette marque ayant subi des réparations non autorisées peuvent perdre l'Autopilot, l'accès aux bornes de recharge ou encore la possibilité de mettre à jour les systèmes embarqués, à moins de payer pour faire contrôler sa voiture.

Un autre bouleversement aura lieu : les véhicules partagés. Les voitures passent la majeure partie de leur temps stationnées, ou à la recherche d'un stationnement. Ces périodes pourront désormais être des moments où la voiture sera utilisées par d'autres personnes, afin de les rentabiliser mais aussi de réduire les besoins en places de stationnement et les embouteillages.

Le développement des véhicules connectés devrait créer des emplois dans les domaines de la recherche et du développement. Cependant, sur le long terme, une majeure partie des emplois des transports sont voués à disparaître avec le déploiement de véhicule non plus connectés, mais totalement autonomes.

Une dernière question se pose : celle du coût. Les technologies existantes et répandues telles que le Wi-Fi et le Bluetooth ne sont pas particulièrement coûteuses à implanter car elles sont parfaitement maîtrisées et les coûts de développement sont déjà rentabilisés. Ce n'est par contre pas le cas de la 5G par exemple.

5.4 Enjeux techniques

Certaines données recueillies par les voitures connectées peuvent être utiles à d'autres véhicules ou d'autres usagers de la route, et doivent donc être transmises en temps réel. Un engorgement des systèmes de communication pourrait se révéler plus dangereux car le conducteur de la voiture serait moins en mesure d'anticiper les dangers.

De plus, il faudra rendre toute la partie informatique des véhicules connectés aussi stable que possible afin d'éviter d'éventuels bugs qui là aussi pourraient se révéler fatals, par exemple si la voiture s'arrête toute seule au milieu d'une autoroute suite à un mauvais traitement d'information. Cela passe aussi par un dimensionnement adéquat des ressources disponibles aux traitements des informations et aux prises de décisions, afin que le véhicule réagisse aussi vite que possible, tout en évitant les erreurs de jugement. Il faudra également que la voiture soit en mesure de détecter les informations aberrantes créées par des problèmes de communication ou d'éventuels pirates pour ne pas les prendre en compte.

L'importance de la fiabilité algorithmes a récemment été mise en avant lors de d'un accident qui s'est déroulé à Tempe, aux États-Unis. Cet accident a causé la mort d'une piétonne, percutée par un Volvo XC90 rendu autonome par la société Uber. Les analyses des données enregistrées par le véhicule ont montré que la personne qui traversait la route avait bien été détectée, mais que le système n'avait pas considéré qu'il s'agissait d'un obstacle à éviter. Le SUV n'a par conséquent pas freiné, ce qui a entraîné la mort du piéton. Cet incident, malheureusement lourd en conséquences, montre que les tests en milieu contrôlé ne sont pas toujours suffisants. Il a néanmoins permis de récolter de précieuses données qui permettront d'améliorer les algorithmes afin d'éviter qu'un accident de ce genre se reproduise. Notons enfin que ce problème peut aussi arriver sur des modèles déjà en circulations équipées d'aides actives à la conduite tels que le maintien dans la voie ou le freinage d'urgence automatique. Le déficit d'image engendré auprès du grand public et des autorités sera par contre difficile à combler.

Conclusions

Sur le travail

Les systèmes V2X sont la clé d'une circulation plus sûre, plus agréable et plus respectueuse de l'environnement. Les technologies d'aujourd'hui et celles en cours de développement permettront aux véhicules de communiquer, en toutes circonstances, avec les autres éléments de l'environnement. Il ne faut néanmoins pas oublier les questions légales qui gravitent autour du véhicule intelligent et des données personnelles (qui est à ce jour une des préoccupations majeures de l'Union Européenne).

Nous avons donc pu découvrir les différentes façons de communiquer d'un véhicule, ainsi que le fonctionnement des différents protocoles, leurs atouts et limites. L'étude du projet SCOOP a permis d'illustrer concrètement l'utilisation de telles technologies.

Sur le plan personnel

La première difficulté d'un tel travail est évidemment le fait que nous étions 6 personnes qui ne se connaissaient pas forcément. Nous avons déjà travaillé à 5 ou 6 lors du projet mathématiques du semestre dernier, mais l'ampleur du travail n'était pas la même. Nous avons réussi à travailler ensemble, notamment grâce aux outils de collaboration en ligne (Google Drive) pour ne pas perdre le rythme.

Une des difficultés de ce projet a été de choisir quelles informations nous allions conserver, en effet, la quantité de données concernant les systèmes de communication et de coopération des véhicules autonomes est énorme, il est facile de s'égarer.

Enfin, nous avons appris énormément sur le sujet du véhicule autonome, que ce soit sur les technologies V2X mais aussi sur les technologies vues dans les projets en parallèle (en particulier les systèmes cartographiques, puisque pendant le même créneau que nous). Cela nous a également permis de nous forger une opinion sur le sujet, grâce aux possibilités offertes par de tels véhicules mais aussi aux récents événements tragiques survenus il y a quelques semaines (accident mortel aux Etats-Unis).

Bibliographie

- Page de garde <https://www.shutterstock.com/fr/image-vector/autonomous-smart-car-scans-road-operates-635238704>
- http://serres.ifsttar.fr/fileadmin/contributeurs/serres/Action3/3-10_EtatdeL_ArtV2X_deploiement_V1_Final.pdf
- <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/presentation-du-projet-scoop-a29.html>
- http://www.pprs2018.com/images/presentations/PPRS%202018_Presentation_FIEV_CEREMA_SER_LEBLANC.pdf
- <https://www.usine-digitale.fr/article/projet-scoop-psa-et-renault-testent-des-vehicules-connectes-en-conditions-reelles.N678279>
- http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/scoop_-_presentation_-_5_avril_2018-2.pdf
- https://fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9hicule_autonome
- Présentation du V2X (*document interne*)

- <http://www.zigbee.org/>
- <https://blog.domadoo.fr/guides/principe-du-protocole-zigbee/>
- <https://www.asist.si/en/info-portal/vehicule-vehicule-v2v-and-vehicule-infrastructure-v2i-communications>
- <https://www.qualcomm.com/videos/c-v2x-gaining-momentum-and-ecosystem-support>
- <http://sites.ieee.org/connected-vehicles/2015/09/10/continental-presents-left-turn-assist-based-v2x-frankfurt-motor-show/>
- <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/left-turn-assist/>
- https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/812276_truckv2vreport.pdf
- <https://www.leblogauto.com/2017/03/communication-entre-vehicules-v2v-arrive-chez-cadillac.html>
- <https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/06/04/snapdragon-automotive-solutions-connected-car-platforms-all-types-vehicle>

- <https://www.wired.com/2016/08/jeep-hackers-return-high-speed-steering-acceleration-hacks/>
- <https://www.nbcnews.com/tech/tech-news/jeep-hackers-are-back-scary-new-trick-n623756>
- <https://www.reuters.com/article/us-tesla-autopilot-dvd/dvd-player-found->

[in-tesla-car-in-fatal-may-crash-idUSKCN0ZH5BW](https://qz.com/344466/connected-cars-will-send-25-gigabytes-of-data-to-the-cloud-every-hour/)
— <https://qz.com/344466/connected-cars-will-send-25-gigabytes-of-data-to-the-cloud-every-hour/>