

***Véhicule autonome et connecté :
les systèmes de communication embarqués***



Etudiants :

Thibaut ANDRE GALLIS Inas BEN TAHIR
Gaël BOSC Victor COTTIN
Marina DELAUNAY Mathilde JULIEN
Killian POULIQUEN

Enseignant-responsable du projet :
Abdelaziz BENSRAIR

Date de remise du rapport : **17/06/2019**

Référence du projet : **STPI/P6/2019 – 05**

Intitulé du projet : Véhicule autonome et connecté : les systèmes de communication embarqués

Type de projet : Veille technologique, recherche documentaire

Objectifs du projet :

- Faire des recherches à travers des ouvrages, des sites internet, des thèses, des articles scientifiques
- Réaliser un état de l'art des futures voitures autonomes
- Faire un bilan des technologies nécessaires à la création des voitures autonomes
- Présenter la V2X
- S'interroger sur les enjeux de l'utilisation des données et leur sécurité

Mots-clefs du projet :

- **Communication**
- **Réseaux**
- **V2X**
- **Véhicule autonome**

Table des matières

| | |
|--|----|
| 1.Introduction..... | 6 |
| 2.Méthodologie / Organisation du travail..... | 7 |
| 3. Les différents protocoles, normes et réseaux utilisés..... | 8 |
| 3.1.Réseau P2P et ad hoc..... | 8 |
| 3.2.La norme IEEE 802..... | 10 |
| 3.3.ZigBee et Z-wave..... | 11 |
| 3.4.Les normes 4G et 5G..... | 11 |
| 3.5.WiMax : norme IEEE 802.16..... | 13 |
| 3.6.Bus informatique : CAN, FlexRay..... | 13 |
| 4.Explications des différents systèmes de communication V2X..... | 14 |
| 4.1.V2V..... | 14 |
| 4.1.1.Définition..... | 14 |
| 4.1.2.Type de réseau utilisé..... | 14 |
| 4.1.3.Utilité..... | 15 |
| 4.2.V2I..... | 16 |
| 4.2.1.Définition..... | 16 |
| 4.2.2.Type de réseau utilisé..... | 16 |
| 4.2.3.Utilité..... | 16 |
| 4.2.4.FCD..... | 17 |
| 4.3.V2P..... | 17 |
| 4.3.1.Définition..... | 17 |
| 4.3.2.Type de réseau utilisé..... | 17 |
| 4.3.3.Utilité..... | 18 |
| 5.Conclusions et perspectives..... | 19 |
| 6.Bibliographie..... | 20 |
| 6.1.Sites internet..... | 20 |
| 6.2.Thèse..... | 20 |

NOTATIONS, ACRONYMES

CAN : Controller Area Network

DSRC : Dedicated Short Range Communications

FCD : Floating cellular Data

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

ISO : International Organization for Standardization

Modèle OSI : Open Systems Interconnection

UIT : l'Union internationale des télécommunications

UBR et ITSS-R : Unité de Bord de Route

V2I : Vehicule to Infrastructure

V2P : Vehicle to Pedestrian

V2V : Vehicle to Vehicle

V2X : Vehicle to everything

WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

1. INTRODUCTION

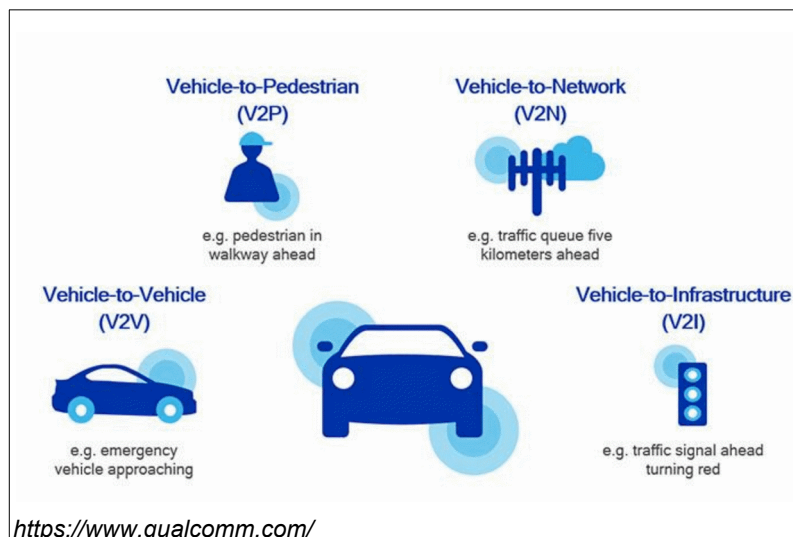
Le premier moteur à combustion interne est réalisé en 1860 par Étienne Lenoir, il s'agit d'un moteur à deux temps suivant le cycle de Lenoir. Cette avancée technologique est suivie par l'apparition du moteur quatre temps en 1867. Rapidement, ces moteurs deviennent suffisamment fiables pour être utilisés comme source d'énergie dans les moyens de transports. Ainsi apparaissent les premières voitures propulsées par un moteur thermique dans les années 1890. L'invention du moteur Diesel en 1893 est le dernier élément nécessaire à la naissance de l'industrie automobile.

Jusqu'aujourd'hui, les principes utilisés pour faire fonctionner une voiture n'ont pas fondamentalement changés. Les moteurs ont simplement été améliorés : ils sont plus puissants, plus robustes, plus fiables et plus efficaces. Cependant, l'amélioration de ces technologies n'est plus le seul objectif des constructeurs automobiles.

L'objectif actuel des constructeurs est de réduire la mortalité sur les routes. En effet, malgré de nombreuses innovations dans le domaine de la sécurité automobile comme l'installation des ceintures et des airbags dans les véhicule, le nombre de décès sur les routes reste élevé (3 250 décès en 2018 soit près de 10 personnes par jours). On remarque que 90% des accidents mortels sont causés par le conducteur.

C'est pourquoi le développement de voitures entièrement automatisées est maintenant un objectif majeur de l'industrie automobile. Pour cela de nombreuses avancées technologiques dans plusieurs domaines sont nécessaires. On peut déjà voir apparaître quelques résultats, les voitures Tesla par exemple sont capables de se conduire toutes seules dans certaines conditions. On peut aussi citer les voitures du Rouen Normandy Autonomous Lab de Transdev qui elles sont totalement autonomes et nécessitent seulement un « safety driver » chargé de prendre le volant en cas d'anomalie.

Pour permettre à une voiture d'être totalement autonome, il faut bien sûr lui donner la capacité d'analyser son entourage mais il faut aussi lui permettre de communiquer avec les autres véhicules. C'est sur cette aspect des véhicules autonomes que nous allons nous concentrer. Les technologies de communication entre véhicules autonomes sont appelées les V2X (vehicle to everything).



2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Chaque semaine, nous nous retrouvions en groupe avec M. BENSRAIR, le professeur responsable de notre projet. Lors des premières séances, nous avons découvert notre sujet et mis en place une organisation pour le semestre (avancée du rapport, réalisation du poster, ...).

La présence du Rouen Normandy Autonomous Lab de Transdev sur le campus du Madrillet nous a permis de découvrir de véritables véhicules autonomes. Nous avons eu la chance de pouvoir participer aux tests de ces véhicules, ceci nous a permis de confronter nos recherches à la réalité.

Nous avons aussi pu visiter le laboratoire LITIS (Laboratoire d'Informatique, de Traitement de l'Information et des Systèmes) et rencontré les chercheurs et doctorants travaillant sur le traitement de grandes quantités de données.

Avec un commun accord, on a choisi Killian POULIQUEN comme chef d'équipe afin de pouvoir communiquer avec le professeur en dehors des séances. Ensuite, nous avons effectué des premières recherches sur les systèmes de communication des véhicules autonomes. Suite à cela, nous avons pu élaborer un plan pour le rapport et répartir les différentes tâches. Grâce à un drive, il a été facile de mettre en commun nos avancées au fur et à mesure. Une fois les recherches terminées, nous avons pu commencer à rédiger le rapport. Nous avons d'ailleurs pu envoyer une première version à M. BENSRAIR afin qu'il nous donne des pistes d'amélioration et qu'on puisse retravailler sur certains points. Nous nous sommes également entraînés plusieurs fois à l'oral. Puis, nous avons réalisé le poster et le diaporama de la soutenance, chacun donnant ses idées et les informations qu'il souhaitait y mettre.

3. LES DIFFÉRENTS PROTOCOLES, NORMES ET RÉSEAUX UTILISÉS

Ici nous traiterons essentiellement de 2 types de réseaux : les réseaux organisés par le temps et les réseaux organisés par les événements.

Les réseaux dirigés par le temps utilisent la technique TDMA. Cette technique permet d'organiser les trames dans le temps à travers une seule connexion physique. Selon la norme OSI, une trame contient le message à transmettre, l'adresse physique de l'émetteur ainsi que celle du destinataire. Si on reprend le cas du réseau dirigé par le temps, tout le monde reçoit la trame mais seul l'entité correspondante à l'adresse destinataire inscrite dans la trame va lire le message. On remarque que ce type de réseau n'utilise pas la bande passante de manière optimale car il faut "attendre son tour pour pouvoir envoyer une trame". On note qu'il est très simple de repérer un composant défectueux sur un réseau basé sur le temps car on repère facilement un composant qui n'envoie pas de trame au moment où la connexion lui est allouée.

Les réseaux organisés par les événements ne partagent pas la connexion physique à travers le temps. Une trame est envoyée seulement lorsque cela est nécessaire. Quand une entité connectée au réseau n'envoie pas de trame, elle peut réceptionner les trames des autres entités. Ce procédé permet de ménager la bande passante car elle n'est pas sans arrêt utilisée à tour de rôle par les différents composants du réseau. C'est un des intérêts principaux des réseaux organisés par les événements.

3.1. Réseau P2P et ad hoc

Les réseaux P2P, peer-to-peer ou encore pair-à-pair, désignent les réseaux informatiques d'égal à égal entre ordinateurs. Les ordinateurs peuvent à la fois télécharger et distribuer des données. Dans ces réseaux, semblables aux réseaux client-serveur, chaque client (ordinateur) devient un serveur.

Ainsi chaque fois qu'un internaute télécharge un fichier, il partage en même temps des bouts de ce fichier à d'autres internautes. Chaque ordinateur se comporte alors comme un petit serveur. Le serveur d'origine n'est donc plus la seule source du fichier. Plus un fichier est populaire, plus de personnes le téléchargent. Il y a donc plus d'ordinateurs pour redistribuer ce fichier et il est plus facile à télécharger. Le serveur qui est à l'origine du fichier n'est plus surchargé.

Il existe deux types d'architecture peer-to-peer, la première centralisée consiste en un serveur qui met en relation directe les utilisateurs concernés. L'intérêt de cette méthode réside dans la centralisation de tous les répertoires et intitulés des fichiers qui seront partagés par les utilisateurs. Pour le client cela fonctionne comme un moteur de recherche, il suffit de lancer une requête en inscrivant des mots-clés. A partir de là, une liste d'utilisateurs connectés au serveur et dont les fichiers partagés correspondent à la recherche apparaît. L'utilisateur peut alors se connecter directement sur une machine correspondante et effectuer le transfert. Ainsi, à aucun moment les fichiers se retrouvent stockés sur le serveur central.

La deuxième est l'architecture décentralisée. Pour se connecter à un réseau décentralisé, il faut connaître sa topologie afin de pouvoir rechercher une information sur tous les nœuds et recevoir une réponse. Au début de sa connexion, un client est «aveugle», il ne connaît pas le réseau. Il doit alors envoyer un broadcast, c'est à dire une demande d'identification aux autres nœuds du réseau. Ces nœuds reçoivent la demande et vont à leur tour la transmettre aux nœuds voisins et ainsi de suite, comme on peut le voir sur l'image.

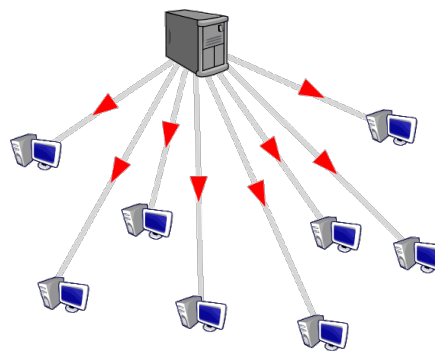
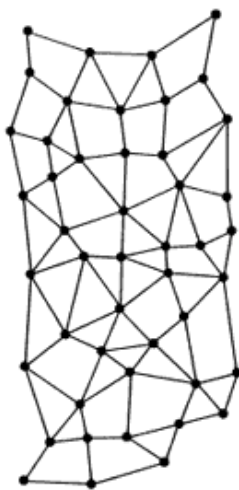


Figure 1 : architecture décentralisée

Lorsque que la trame est reçue et identifiée, le nœud renvoie une trame d'identification au client qui n'est maintenant plus «aveugle». Il connaît désormais tous les nœuds du réseau et peut se connecter à l'un d'entre eux.

Les réseaux ad hoc (aussi appelés réseaux MANET ou mobile ad hoc networks) sont des réseaux sans fil ne nécessitant pas d'infrastructure définie préalablement. Les entités communiquent directement entre elles en créant des routes grâce à un protocole de routage. A la différence des réseaux d'infrastructure (comme le Wi-Fi), les réseaux ad hoc n'ont pas besoin d'un point d'accès pour communiquer, les entités s'organisent entre elles et chacune peut jouer différents rôles, c'est une communication distribuée.



Les réseaux ad hoc sont utilisés dans la communication entre véhicules autonomes, en V2V (véhicule à véhicule), pour une communication locale. Les réseaux se créent au travers de différents nœuds leur permettant de transmettre des messages par routage. Le principal avantage d'une communication distribuée est sa capacité à s'adapter à un grand nombre de véhicules. En effet, puisque chaque véhicule est acteur et peut s'ajouter seul au réseau de communication, l'arrivée d'un nouveau véhicule n'est pas un problème.

L'inconvénient d'une telle architecture est l'incohérence temporelle et spatiale. En effet, ces réseaux sont adaptés pour une communication locale, plus la distance de diffusion du message est grande, plus le problème de routage est difficile et il peut y avoir des problèmes de synchronicité.

Figure 2 : communication distribuée

3.2. La norme IEEE 802

IEEE 802 est un comité de l'IEEE qui décrit une famille de normes relatives aux réseaux locaux (LAN) et métropolitains (MAN) basés sur la transmission de données numériques par des liaisons filaires ou sans fil. Plus spécifiquement, les normes IEEE 802 sont limitées aux réseaux utilisant des paquets de tailles variables contrairement à ceux où les données sont transmises dans des cellules de taille fixe et généralement courtes. Également non traités par l'IEEE 802 : les réseaux isosynchrones où des données sont acheminées par groupes d'octets à intervalles réguliers.

Le numéro de la norme ne vient pas, comme il est parfois affirmé, de la date de fondation du comité (février 1980) ; il s'agit simplement du premier numéro disponible pour une norme IEEE.

Quel protocole réseau utiliser ?

La question est légitime compte tenu de la présence permanente dans la vie courante d'appareils différents utilisant les réseaux pour communiquer. La domotique, les téléphones, bornes wifi et maintenant les voitures connectées. ZigBee, Z-Wave, Bluetooth, wifi, la question est donc quel est LE réseau idéal pour ces voitures next-generation.

Wifi : utilisé pour le streaming, la navigation internet, il permet un passage d'une grosse quantité d'information sur une large bande passante mais utilise par conséquent une grosse quantité d'énergie. Les composants sont aussi plus chers.

Bluetooth : Il permet d'établir une connexion sécurisée de proximité. Il faut cependant que les appareils soient proches les uns des autres, cela peut paraître comme un désavantage mais permet de sécuriser le signal et l'interception du signal ne peut pas se faire à distance. Le Bluetooth opère dans les bandes de fréquences ISM 2.4GHz, son exploitation ne nécessite pas de licence grâce à la faible puissance d'émission et le faible risque d'interférence. Le Bluetooth LE (low energy) nécessite beaucoup moins d'énergie que le wifi.

3.3. ZigBee et Z-wave

ZigBee est basé sur la norme IEEE 802.15.4 pour les réseaux à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPAN).

Les objectifs de ZigBee et Z-wave sont d'utiliser une faible quantité d'énergie et d'établir un réseau maillé. Ces dispositifs peuvent fonctionner pendant plusieurs années avec simplement une pile de montre. Il s'agit d'une technologie radio de faible puissance située dans les fréquences 868.42 MHz. Cela implique que le ZigBee est sensible aux brouilleurs. Des précautions sont donc à prendre surtout en matière de sécurité, comme par exemple des alarmes ou mêmes des voitures autonomes. Ce genre de protocole permet de connecter jusqu'à 232 appareils sur un réseau.

L'usage de basses fréquences implique un faible taux de transfert de données, mais le principal défaut reste que les signaux ne sont pas directement compatibles avec des systèmes évolués (ordinateurs/tablettes/smartphones). Il faut donc utiliser une gateway (passerelle) connectée au réseau maillé et au réseau local par wifi ou câble Ethernet.

On peut donc constater que pour le moment il n'y a pas de protocole réseau parfait dans la norme IEEE 802, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients.

3.4. Les normes 4G et 5G

La voiture autonome fait appel à plusieurs outils dont celle de la 4G. La 4G a été définie par l'organisme de normalisation 3GPP et correspond à la norme LTE-Advanced (Long Term Evolution). LTE-Advanced est basée sur le protocole IPv6 (Internet Protocole version 6) : Il s'agit d'un protocole réseau sans connexion standardisée en 2017, qui permet de fournir bien plus d'adresses IP que le protocole IPv4, saturé.

Ainsi, la 4G permet d'échanger des données à haut débit avec le réseau de téléphonie mobile, télécharger des mises à jour, des vues satellites pour le système de navigation, ... Par exemple, elle peut télécharger des cartes de plusieurs Go en quelques minutes. Les débits supérieurs peuvent aller jusqu'à 1 Gb/s lorsque le véhicule est à l'arrêt et jusqu'à 100 Mb/s lorsque le véhicule est en mouvement, même à 120 km/h. Toutefois, le temps de latence est estimé entre 30 à 40 millisecondes : cela reste trop lent. C'est pourquoi la voiture autonome utilisera plutôt la 5G.

La norme ITS G5* (5G) est en plein déploiement. Il s'agit d'un débit digne de la fibre optique : il suffira de quelques dizaines de millisecondes pour envoyer un message. Elle sera disponible en France d'ici 2020 dans quelques régions et dans la totalité de la France en 2025, même dans les régions rurales. Elle pourrait améliorer considérablement la sécurité des véhicules autonomes.

Les débits supérieurs pourront aller de 1Gb/s à 10 Gb/s : soit 10 fois plus que la 4G. Il sera possible de télécharger des cartes à haute densité et de les mettre à jour en temps réel. Par exemple, une voiture impliquée dans un accident pourrait avertir les autres usagers de la route ainsi qu'une centrale d'alarme. Des cartes 3D seront également disponibles, ce qui va permettre aux conducteurs de bénéficier de la réalité augmentée dans certaines situations. Les véhicules pourront être géolocalisés au centimètre près à chaque seconde, peu importe les conditions environnantes (brouillards, manque de luminosité ...). Elle utilise une fréquence de 5.9 GHz et a une portée d'au moins 300 mètres en ville et plus d'un kilomètre en campagne. La bande passante maximale se situant à 300 Mbits/s. La norme 5G repose sur les ondes millimétriques qui couvrent des hautes fréquences allant jusqu'à 300 GHz.

Le principale avantage de la norme 5G est son faible temps de latence (faible temps de réaction au freinage) : 1 milliseconde, soit jusqu'à 10 fois inférieur à celle de la 4G. En effet, les capteurs situés à l'avant pourront anticiper un ralentissement.

De plus, il s'agit d'un système qui ne repose pas sur un réseau existant. Cela permettra aux véhicules de communiquer entre eux et surtout d'échanger des informations continuellement. En communiquant entre elles et avec les infrastructures, les véhicules pourront adapter automatiquement leurs itinéraires pour fluidifier et sécuriser la circulation, surtout en ville. Par ailleurs, la norme 5G pourra permettre la prise de commande à distance de véhicules autonomes. Ainsi, il serait possible d'évaluer les flux en direct et les diagnostics du véhicule.

Plusieurs tests de la norme 5G ont déjà été réalisés. Le groupe privé UTAC CERAM a par exemple chargé l'opérateur Orange et le fabricant Ericsson d'équiper les pistes de son centre d'essai en Essonne d'un réseau 5G expérimental. En France, 9 grandes villes ont été autorisées par l'ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes) pour tester cette technologie. Aussi, les clients des opérateurs de Lyon, Bordeaux, Nantes, Lille, Le Havre, Saint-Etienne, Douai, Montpellier et Grenoble se verront bientôt proposer d'utiliser le réseau 5G.

3.5. WiMax : norme IEEE 802.16

WiMax est une technique de communication se basant sur la famille des normes IEEE 802.16. Cette technique de communication utilise les ondes hertziennes (dont la longueur d'onde est supérieur a 1 millimètre). On peut établir avec le WiMax un débit de plusieurs dizaines de mégabits par seconde sur une zone de quelques kilomètres. C'est donc une technique idéale pour les réseaux urbains et métropolitains (V2I). Il est important de savoir qu'il existe une entité nommée le WiMax Forum qui a pour but de recenser et de normaliser l'ensemble des utilisateurs et fournisseurs de réseaux WiMax. Cela facilite largement l'interopérabilité.

La technologie WiMax fait son apparition en 2001, mais ce n'est qu'en 2005 que le but principal du WiMax est atteint : proposer une solution pour un réseau de type WLAN (Wireless Local Area Network) qui comprend des utilisateurs avec différentes contraintes. Les utilisateurs peuvent être par exemple mobiles ou fixes ou encore présenter des contraintes de débits, de délai ... L'interopérabilité est donc au cœur de la technologie WiMax. De ce fait, les réseaux WiMax sont de parfaits candidats pour les communications de type V2I : ils permettent une communication sans connexion physique, répondent aux différentes contraintes de la communication des véhicules autonomes et permettent grâce a leur interopérabilité la communication avec d'autres usagers de la route (par exemple les piétons via les smartphones).

3.6. Bus informatique : CAN, FlexRay

Un bus informatique est un dispositif matériel et immatériel permettant l'échange d'informations entre plusieurs composants numériques. Un bus informatique est différent d'une connexion point à point qui ne relie que deux éléments. Un bus n'est pas non plus comparable à un réseau qui connecte plusieurs entités indépendantes entre elles et nécessite l'échange de différentes informations simultanément.

Le bus CAN (Controller Area Network) est une technique de multiplexage qui est apparue dans l'industrie automobile dans les années 1980 et elle fait maintenant partie des standards en Europe et est normalisée ISO. Cette technique consiste à connecter avec un seul câble, suivant une architecture réseau, plusieurs calculateurs dans une voiture. Cela permet de réduire la longueur du câblage et le nombre de connexions point à point dans les voitures. L'introduction du bus multiplexé dans le domaine automobile a permis d'augmenter fortement le nombre de capteurs et calculateurs répartis dans les voitures. Cela a également permis de réduire la consommation de carburant ainsi que la pollution, mais aussi d'augmenter la sécurité et le confort dans les véhicules grâce à l'installation de diverses ADAS dans les véhicules. L'arrivée du bus CAN dans les voitures permet aussi de réduire le prix de ces dernières en réduisant la quantité de cuivre nécessaire pour les câbles.

Cependant, il faut noter que ce dispositif est victime d'une baisse de débit lorsque l'on augmente la distance entre les éléments à connecter. Un bus CAN ne serait par exemple pas adapté pour établir une connexion entre deux bâtiments. En revanche, le dispositif est très efficace dans le domaine automobile puisque dans une voiture les composants numériques sont très proches. On peut au final faire la même remarque pour la plupart des systèmes embarqués (avions, bateaux ...). Bien que le bus CAN soit très largement utilisé pour la communication interne entre plusieurs parties d'un système embarqué, il ne sert pas directement dans la communication entre plusieurs systèmes car cette méthode de communication nécessite un câble pour relier les composants du système.

Le protocole FlexRay est le successeur du protocole CAN. Il s'agit aussi d'une technologie de multiplexage largement utilisée dans le domaine automobile. Cependant, cette technologie est issue d'un accord entre plusieurs constructeurs automobiles comme Volkswagen, Bosch, BMW, alors que le protocole CAN était au début utilisé par le constructeur Mercedes. Le bus FlexRay est plus sûr et plus rapide que le bus CAN. Cela s'explique par le fait que le protocole FlexRay présente une architecture plus complexe que le protocole CAN. Cette architecture complexe lui permet d'augmenter la bande passante et de rassembler les avantages des réseaux guidés par le temps et de ceux guidés par les événements. Malgré ses nombreux avantages, le bus FlexRay présente un inconvénient : il est plus complexe à implémenter que le bus CAN.

4. EXPLICATIONS DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE COMMUNICATION V2X

4.1. V2V

4.1.1. Définition

V2V est un réseau maillé dans lequel chaque véhicule peut émettre, recevoir et retransmettre des informations en provenance des autres véhicules. La technologie V2V utilise surtout des méthodes de communication à courte distance. C'est pourquoi le V2V s'appuie sur la famille de norme IEEE 1609 qui est une famille de normes spécialement développée pour ces communications. Les protocoles utilisés par le V2V sont essentiellement de type DSRC (Dedicated Short Range Communication).

4.1.2. Type de réseau utilisé

Le V2V s'effectue sans infrastructure, il est donc basé sur des réseaux décentralisés, voir même distribués. De ce fait, les voitures peuvent échanger des informations sans se connecter à une unité de bord de route (UBR).

4.1.3. *Utilité*

Grâce au V2V, les voitures et les camions peuvent prévenir les véhicules aux alentours des situations dangereuses, comme par exemple lorsqu'une voiture grille un feu. Même si le V2V sera incorporé aux voitures autonomes, il a déjà été développé par différentes organisations.

Ce concept a déjà été testé par Unions Safe Road Trucks et General Motors qui ont décidé d'encourager cette technologie sur leurs futures modèles. Au début, ces nouvelles voitures auront la possibilité de communiquer avec seulement quelques véhicules. Toutefois, l'administration de la sécurité des autoroutes américaines prévoit d'imposer les radios V2V sur toutes les nouvelles voitures.

“Les véhicules afficheraient un simple message de sécurité : position, vitesse, direction.” dit Josh Switkes, le directeur de Peloton Technology, une start-up à Menlo Park, Californie qui cherche à commercialiser les radios V2V pour les poids lourds. Selon lui, ce simple message de sécurité sera suffisant pour diminuer le nombre d'accidents.

Les radios V2V seraient aussi le futur d'une énergie efficace. Le fait que les voitures autonomes puissent communiquer entre elles pourra réduire les embouteillages et ainsi réduire la consommation de pétrole. Par ailleurs, si les voitures peuvent communiquer avec les feux de signalisation, alors tout un système pourrait empêcher le besoin des voitures de s'arrêter. Pour la communication V2V, certains services ont une portée géographique pour couvrir ce type de besoin comme par exemple des méthodes de routage géographique (GeoNetworking). Ce genre d'application de sécurité se place dans un contexte de Geobroadcast pour lequel tous les usagers présents dans une zone sont avertis du danger potentiel.

Audi a présenté à Las Vegas son service «Connect Prime» capable de communiquer avec des feux de trafic équipés du V2V. Ainsi, les voitures seront avertis du temps qui leur reste avant de passer au rouge ou au vert. Il suffira alors au conducteur d'adapter sa conduite pour que son passage coïncide au mieux avec le «vert». Cela permettrait une circulation plus fluide et surtout beaucoup moins d'embouteillages. GM a annoncé début 2017 que sa Cadillac CTS serait équipée de la technologie V2V, fournie par Delphi Automotive, qui a effectué les 5471 km entre San Francisco de New-York dans un véhicule autonome.

4.2. V2I

4.2.1. Définition

La communication V2I correspond aux échanges sans fil et bidirectionnels de données entre les véhicules et les infrastructures routières. Les infrastructures peuvent être par exemple les marquages de voie, les panneaux, les feux tricolores mais aussi les UBR (Unités de bord de Route). Les UBR ont pour seules missions de collecter, de transmettre de l'information avec les véhicules, et/ou d'interfacer un ensemble de périphériques (capteurs). Les informations obtenues par la V2I peuvent être utilisées pour garantir plus de sécurité, pour améliorer la mobilité des véhicules entre eux mais aussi pour l'environnement.

4.2.2. Type de réseau utilisé

Contrairement à la communication V2V, le réseau utilisé pour le V2I est centralisé, c'est à dire qu'il est stable dans le temps et l'espace (3G ou 4G). Les voitures sont reliées à un point central tel qu'un serveur, un opérateur ou un cloud. En effet, vu que la connexion ne s'établit plus entre les voitures elle-même (comme pour le V2V), ce système assure la connectivité individuelle pour chaque voiture mais aussi la cohérence de l'information.

4.2.3. Utilité

Contrairement à la communication V2V, la communication V2I est plus lente mais elle permet de distinguer une hiérarchie entre les différents acteurs. Cela signifie que les infrastructures constituent des autorités par rapport aux véhicules. Elles peuvent leur appliquer des contraintes comme pour l'arrêt aux feux rouge ou les limitations de vitesse. Cela permet donc de limiter le nombre d'infractions et d'assurer la sécurité.

Le principal avantage de la communication V2I est qu'elle permet de fluidifier la circulation. En effet, le dialogue avec les infrastructures permet une gestion coopérative du trafic. Par exemple, les informations échangées entre les feux et les véhicules peuvent permettre d'avoir le moins de voitures possibles à l'arrêt.

Dans certaines situations, les communications V2V entre les véhicules ne sont pas suffisantes pour déterminer une solution, comme par exemple un croisement avec 4 priorités à droite. Un acteur extérieur comme la V2I permettrait d'aider cette prise de décision et par conséquent d'éviter un blocage. On peut donc penser que cette prise de décision peut s'appliquer à la gestion du trafic en général et qu'elle permettra de mieux le réguler qu'avec les infrastructures dont l'on dispose actuellement.

Cette communication est aussi très intéressante pour assurer la transition écologique. Une telle technologie existe déjà chez Audi. Grâce à la distance entre le véhicule et l'infrastructure donnée par la V2I, la voiture peut adapter son allure afin d'économiser du carburant (en réduisant les accélérations et les freinages brusques), de diminuer les émissions de CO2 et de réduire la pollution sonore. Cette technologie permet donc une meilleure conduite pour le conducteur et pour l'environnement.

Une communication existe aussi entre les infrastructures et les piétons, elle se nomme P2I. Elle permet de collecter les informations sur l'état du piéton grâce à un système positionné sur le piéton (vêtements, sac à dos, vélo).

4.2.4. FCD

Le FCD ou Floating Car Data est une méthode pour connaître le trafic routier utilisée par la V2I. Elle est basée sur la collecte de données (vitesse, localisation, sens) sur le réseau routier et permet de générer des informations concernant l'état du trafic (embouteillages). Ces données sont récupérables grâce à des caméras de surveillance, à des GPS ou à des téléphones présents dans les voitures.

4.3. V2P

4.3.1. Définition

Les initiales V2P signifient « vehicle to pedestrian ». Comme son nom l'indique, le V2P est un ensemble de technologies regroupées sous le thème de la communication entre les véhicules et les piétons dans la rue. À la différence du V2I et du V2V, le V2P possède la difficulté de créer une communication entre un véhicule non vivant et un piéton vivant. En effet, il est plus évident d'établir une communication entre 2 éléments non vivants par le biais de moyens informatiques. Ces éléments montrent que le V2P rassemble les difficultés des deux autres. Le problème avec un être vivant est qu'il reste totalement imprévisible à la différence d'une machine qui suit toujours un protocole bien précis. La communication entre les deux est donc difficile à établir.

4.3.2. Type de réseau utilisé

Une première solution serait d'installer une puce électronique dans le cerveau de chaque être humain permettant d'émettre sur une certaine fréquence ce qu'il prévoit de faire. Cela permettrait ainsi à un véhicule de réceptionner cette information et d'agir en conséquence. Cependant, on se rend vite compte que cette solution, en supposant qu'on soit capable de la mettre en place sans risque pour la santé, va rapidement poser des sérieux problèmes d'éthique.

Une autre solution plus réaliste et envisageable dès maintenant serait d'utiliser le smartphone du piéton pour communiquer avec le véhicule. Nous vivons actuellement dans une époque où quasiment tout le monde possède un smartphone et l'utilise très fréquemment. Il existe plusieurs protocoles qui sont utilisés pour établir une communication entre le véhicule et le smartphone. Le premier protocole auquel nous allons nous intéresser est le DSRC (Dedicated short range communication). Ce protocole est utilisé de façon expérimentale par Honda. Celui-ci ne fonctionne qu'à courte portée. Le principe est que dès que le piéton est en mouvement, le smartphone active l'émission et la réception d'ondes DSRC. Lorsqu'une voiture passe à proximité d'un piéton qui se déplace vers un passage piéton, on suppose qu'il s'apprête à traverser. Le véhicule reçoit alors un message d'alerte

lui demandant de freiner et le piéton un message lui disant de faire attention car un véhicule arrive. On pourrait croire qu'une caméra sur le véhicule peut suffire à détecter le piéton mais, dans un cas particulier où la visibilité est masquée (par exemple le piéton est caché derrière un obstacle), ni le véhicule ni le piéton ne se voient. L'avantage du V2P est qu'il n'a pas besoin que les deux éléments se voient et il est donc fonctionnel même lorsqu'il n'y a pas de visibilité. Cela paraît donc parfait comme système. Cependant, le problème de la batterie se pose. En effet, la réception et l'émission de ces ondes sont très énergivores. Ainsi, pour faire des économies, le système ne s'active que lorsqu'il y a un déplacement. La portée peut également être une autre limite : ne fonctionnant qu'à courte distance, on peut imaginer qu'un véhicule arrivant à grande vitesse n'aura pas le temps de s'arrêter. On peut donc penser à d'autres réseaux tel que le LTE-advanced (4G) cité dans la Thèse de Pierre Merdrignac ou même à la 5G qui est un protocole très rapide et à longue portée permettant un plus gros transfert d'information.

4.3.3. Utilité

Dans un monde où tout est connecté, où l'on se déplace tout le temps, où l'on cherche à aller toujours plus vite, à être toujours plus efficace, à avoir un rendement toujours plus élevé tout en conservant une sécurité et un confort maximal, le V2P est une technologie qui va s'imposer comme indispensable dans les années futures avec l'arrivée du véhicule autonome.

L'avantage principalement recherché est de gagner en fluidité. On peut optimiser le trafic en automatisant l'ensemble pour tout anticiper. Pour cela on a besoin de tout interconnecter, plus on peut automatiser un ensemble plus on gagne en efficacité. Chaque «électron libre» dans le système est une source de perturbation imprévisible susceptible de perturber l'organisation. Le V2P permet d'insérer l'élément le plus difficile à anticiper : les piétons. Il possède donc un rôle essentiel dans l'automatisation du trafic.

Le deuxième aspect utile et important est la sécurité. Pouvoir anticiper ce que va faire un piéton permet d'éviter des accidents de la route et des situations dangereuses. Le V2P a pour vocation la sécurité routière et de protéger les piétons des dangers de la route.

Enfin un autre aspect utile du V2P : l'environnement. L'anticipation permet d'agir plus intelligemment et donc de limiter les pertes d'énergies. Un exemple simple : savoir qu'un piéton va traverser à tel endroit à tel moment permet de s'organiser pour qu'il n'y ait pas de voitures à ce moment-là en la faisant ralentir à l'avance pour éviter les freinages et les accélérations.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

5.1. Sur le travail

Les technologies V2X permettront dans un futur proche d'optimiser la circulation des véhicules. Ces technologies vont permettre de fluidifier le trafic, de rendre les routes plus sûres autant pour les piétons que pour les automobilistes mais aussi de rendre les voitures plus écologiques. La mise en place du V2X représente un défi majeur de la société actuelle. La grande majorité des technologies présentées dans notre rapport sont disponibles et ont déjà été plusieurs fois testées et approuvées. On peut presque affirmer qu'il ne reste plus qu'à associer les technologies entre elles puis à les imposer sur le marché automobile.

Cependant, plusieurs enjeux se présentent lorsque l'on souhaite imposer les technologies V2X. Il y a tout d'abord de gros enjeux commerciaux pour les firmes de télécommunication. De plus, le V2X nécessite le transfert permanent de grandes quantités de données, il faut donc trouver des méthodes fiables et sûres pour transférer ces données. Le V2P plus particulièrement requiert une communication permanente avec les smartphones des piétons, cela soulève donc des questions éthiques.

En conclusion, on peut dire que les technologies V2X sont déjà disponibles et efficaces mais nécessitent encore beaucoup de réflexion pour être mise en place à grande échelle. Il est tout de même important de savoir que les véhicules autonomes fonctionnent déjà à petite échelle, les voitures de Transdev circulant au Madrillet par exemple sont 100% autonomes. Nous avons eu la chance de pouvoir les tester et de remarquer la présence dans les véhicules de plusieurs technologies évoquées dans le rapport.

5.2. Sur le plan personnel

La difficulté principale de notre projet P6 est de savoir quelles informations gardées. En effet, la documentation sur les systèmes de communication embarqués adaptés aux véhicules autonomes est très importante. Cela s'explique surtout par le fait qu'il s'agit de technologies très récentes et que les recherches ainsi que les développements sur ces systèmes de communication sont très nombreux. Nous avons donc appris à sélectionner l'information en fonction de son importance. Il est important de mentionner qu'au cours du projet nous nous sommes familiarisés avec la lecture et la recherche d'informations dans des documents scientifiques comme la thèse par exemple.

Enfin, grâce à notre projet, nous avons compris pourquoi le véhicule autonome représente un enjeu majeur pour l'industrie automobile et pour la société elle-même. Nous nous sommes aussi forgés notre avis sur ces véhicules par exemple en testant les véhicules autonomes Transdev circulant au technopôle du Madrillet.

6. BIBLIOGRAPHIE

6.1. Sites internet

Valides à la date du 07/06/2019 :

<http://igm.univ-mlv.fr/~duris/NTREZO/20022003/Peer-to-peer.pdf>

<https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203399-p2p-peer-to-peer-definition-traduction-et-acteurs/>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8le_OSI

<https://www.zigbee.org/>

<https://www.groupe-scala.com/wifi-bluetooth-zigbee-z-wave-quel-reseau-choisir-pour-ses-objets-connectes/>

<https://news.autojournal.fr/news/1509942/voiture-connect%C3%A9e-voiture-autonome-technologie-donn%C3%A9es-innovation>

<https://www.20min.ch/ro/multimedia/stories/story/La-5G-pour-piloter-les-voitures-autonomes-12359634>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Bus_informatique

http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/BusCAN/intro_can.html

https://fr.wikipedia.org/wiki/Floating_car_data

<https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-01691909/document>

<http://www.iziva.com/avec-le-v2i-audi-vous-evitera-un-maximum-de-feux-rouges.html>

https://www.its.dot.gov/factsheets/pdf/CV_V2Pcomms.pdf

<https://www.qualcomm.com/>

6.2. Thèse

Système coopératif de perception et de communication pour la protection des usagers vulnérables par Pierre Merdrignac le 5 Avril 2016