

Véhicule connecté : Environnement, Architectures et Défis

I. EL-KORBI¹, S.-M. Senouci¹, F.-A. SHEWAJO ^{1,2}

Laboratoire DRIVE, Université de Bourgogne ¹

The University of Jimma, Ethiopie²

Le véhicule connecté est incontournable dans les systèmes de transport intelligents. Il est le précurseur du véhicule autonome. Comprendre les technologies et enjeux actuels du véhicule connecté permet de mieux appréhender le véhicule de demain.

Introduction

Les véhicules connectés sont un des piliers des systèmes de transports intelligents (ITS¹) d'aujourd'hui et de demain. Ils révolutionnent la façon dont les gens se déplacent. L'usage des technologies de communication intégrées à bord et à portée des usagers (téléphone portable, tablette, etc.) est la clé de la communication entre les véhicules, les usagers et les infrastructures. La connectivité permet, ainsi, d'améliorer la sécurité routière, la gestion du trafic ainsi que la mobilité urbaine et suburbaine et ouvre la voie à bien d'autres nouveaux services comme la prévention des accidents de la route, les réseaux sociaux véhiculaires, la maintenance préventive, etc. La standardisation des architectures progresse afin de répondre aux différents cas d'usage et de services applicatifs : c'est le cas à l'ETSI² avec le standard ITS-G5 [4] ou au 3GPP³ avec les réseaux véhiculaires 5G, C-V2X [5]. L'usage massif des véhicules connectés et de ses différentes applications vont engendrer un large volume de données. Il en résulte un certain nombre de défis dans les domaines du traitement de masses de données, de l'exploitation des données personnelles ainsi qu'à celui de la sécurité. Dans cet article, nous décrivons le véhicule connecté à travers ses interactions avec son environnement embarqué ou externe ainsi que les infrastructures de communication utilisées et les différentes classes d'application. Puis, nous évoquerons les défis de recherche actuels liés au développement des véhicules connectés.



Figure 1 : Les véhicules connectés dans un environnement urbain (source : 5G Automotive Association - 5GAA) [1]

¹ Intelligent Transportation System

² The European Telecommunications Standards Institute

³ 3rd Generation Partnership Project

Les capteurs et le véhicule connecté

L'engouement que suscitent les systèmes de transport intelligents est dû essentiellement à l'évolution des technologies de communication sans fil et de celle des « réseaux de capteurs ». Cette dernière a vu le jour il y a quelques décennies grâce aux systèmes micro-électromécaniques (MEMS) qui ont donné lieu à différents composants capteurs/actionneurs miniaturisés (de quelques centimètres carrés) à des prix très compétitifs. Grâce aux technologies de communication sans fil, les nœuds capteurs peuvent désormais communiquer entre eux afin d'échanger les données collectées. Les capteurs sont utilisés dans différents domaines d'application comme la surveillance militaire, l'agriculture de précision, la e-santé, etc. Dans le domaine des transports, ils ont commencé à être utilisés dans les différents moyens de locomotion. Dans le cas particulier des véhicules, les capteurs peuvent servir pour la supervision du véhicule via des plateformes de service distantes⁴, pour l'échange de messages avec les véhicules voisins afin d'améliorer la sécurité routière et assurer une meilleure gestion de trafic, pour réduire les émissions de CO₂ en contrôlant les vitesses des véhicules, etc. Dans ce qui suit, nous décrivons comment utiliser la technologie de capteurs pour la supervision intra-véhicule et comment les utiliser dans un contexte applicatif urbain et suburbain [10].

La technologie de capteurs pour la supervision intra-véhicule

Les premiers conducteurs de véhicules devaient commander manuellement la majorité des composants de la voiture pour pouvoir la conduire en toute sécurité. Les microprocesseurs n'ont été introduits dans la fabrication des véhicules que depuis les années 70-80 et le GPS (*Global Positioning System*) dans les années 1990. D'autres composants électroniques ont été intégrés peu à peu aux véhicules, formant ainsi tout un système embarqué. Aujourd'hui, beaucoup de tâches classiques ont été automatisées : par exemple, la régulation de vitesse, le déclenchement automatique des essuie-glaces, l'ouverture et fermeture à distance des portes de voiture.

Le système embarqué du véhicule est en charge d'analyser et traiter les informations collectées par les capteurs. Il est défini comme étant un système électronique et informatique autonome, souvent temps-réel, spécialisé dans une tâche bien précise. La collecte des données est effectuée par l'ensemble des capteurs embarqués dans le véhicule qui sont multiples : capteur de pluie pour la mise en marche automatique des essuie-glaces, capteur de vitesse pour le verrouillage automatique des portes lorsque le véhicule bouge, capteur de verglas, caméra embarquée pour la surveillance de trafic, radars/sonars, capteur de pollution, capteur de niveau de nuisance sonore, capteur de choc permettant de mesurer la gravité du choc que la voiture a subi, GPS ou encore le LiDAR⁵ composant incontournable des véhicules autonomes. Les unités de commande (ECU⁶) récupèrent les informations ainsi collectées, les traitent localement et décident de la commande éventuelle d'actionneurs. Tous les composants du système embarqué sont reliés par un réseau majoritairement filaire mais parfois sans-fil : CAN⁷, LIN⁸, Ethernet, FlexRay, Bluetooth, etc.

⁴ Ces plateformes peuvent appartenir à un des acteurs de l'écosystème : constructeurs automobiles, pouvoirs publics qui désirent savoir où roulent les véhicules et à quelle fréquence/vitesse, assureurs qui vont pouvoir mieux déterminer les risques pour chaque véhicule, etc.

⁵ Light Detection And Ranging : permet d'avoir une visibilité continue à 360 degrés en émettant continuellement des faisceaux laser, puis mesurant le temps nécessaire à la lumière pour revenir au capteur.

⁶ Electronic Control Unit : unité de commande électronique

⁷ Controller Area Network : bus série utilisé dans l'automobile.

⁸ Local Interconnect Network : bus à bas débit et de petite taille utilisé aussi dans l'automobile.

La technologie des capteurs pour les applications urbaines et suburbaines

Utiliser la technologie des capteurs pour les applications urbaines et suburbaines nécessite que les véhicules communiquent directement entre eux ou avec une plateforme de service distante capable de traiter les données collectées par les capteurs. Dans ce cas, les technologies utilisées dans la communication intra-véhicule ne sont plus adaptées : d'autres, à moyenne et longue portée, sont alors privilégiées. Dans un contexte applicatif urbain et suburbain, plusieurs types de capteurs peuvent être utilisés comme les capteurs ultrasons, les capteurs de proximité pour détecter les accidents et assurer la sécurité des automobilistes, les caméras et les radars pour une gestion efficace du trafic, etc.

Les systèmes de transport acquies leur intelligence grâce aux technologies de communication hertzienne ainsi qu'à celle des capteurs miniaturisés et communicants. Il est ainsi possible de collecter un grand volume de données en temps réel et les transférer vers des plateformes distantes qui prendront rapidement les décisions appropriées.

Le véhicule connecté et son environnement

Pour communiquer avec son environnement le véhicule connecté peut échanger des informations directement avec les autres véhicules, avec des piétons ou encore en passant par une infrastructure de communication pour joindre une plateforme de service distante. Quels sont les différents modes de communication du véhicule connecté avec son environnement, quelles sont les différentes technologies et infrastructures utilisées pour assurer une telle communication ?

Les différents types de communications d'un véhicule avec son environnement

Dans les services de transports intelligents (ITS), les échanges d'un véhicule avec son environnement sont connus sous le nom de « communications V2X » qui couvrent tous les échanges d'information entre le véhicule et les différents composants d'un système ITS. Elles peuvent être divisées en 4 catégories [7] :

- **Les communications V2V (Véhicule à Véhicule)** permettent d'échanger des données en temps-réel en utilisant un protocole de communication à courte portée connu sous le nom de IEEE 802.11p et adopté par le standard européen ITS-G5⁹ de l'ETSI [4] décrit plus loin dans cet article. Ainsi, les communications V2V permettent aux véhicules de partager leur vitesse, leur position ainsi que d'autres informations (freinage d'urgence, collision, ralentissement, etc.) donnant à chaque véhicule la possibilité d'avoir une vision complète de son environnement. Comme les communications V2V sont conçues comme un réseau maillé, chaque véhicule devient un nœud qui peut recevoir et émettre des signaux. Grâce à la topologie maillée et l'échange temps-réel de l'information dans un rayon de 300 mètres, les communications V2V permettent surtout d'améliorer la sécurité routière sur nos routes.
- **Les communications V2I/I2V (Véhicule à Infrastructure/ Infrastructure à Véhicule)** font partie intégrante des systèmes ITS. Elles consistent en l'échange bidirectionnel de données entre le véhicule et l'infrastructure routière. Ces données sont collectées par les capteurs du véhicule ou des véhicules voisins ou encore à partir des éléments installés sur l'infrastructure routière (caméras, feux de circulation, panneau de signalisation, parcmètres, etc.) ou peuvent être envoyées par l'infrastructure routière elle-même (limitation routière, informations météo, alerte accidents, etc.). L'objectif des communications V2I est d'accroître la sécurité routière en diffusant

⁹ Intelligent Transport System - G5 (pour 5,9 GHz)

des informations temps réel relatives aux conditions de circulation sur la route. Ces communications seront aussi primordiales pour les véhicules autonomes dont le fonctionnement en partie en dépendra.

- **Les communications V2P (Véhicule à Piéton)** représentent une nouvelle catégorie dans la classe des communications V2X. L'objectif de ces communications est de prévenir de la présence de piétons sur la route et par conséquent d'éviter un bon nombre d'accidents de circulation. Même si plusieurs constructeurs d'automobiles ont intégré dans leurs véhicules les LiDAR ou les caméras à 360° pour détecter la présence de piétons, l'efficacité de ces approches reste variable. Pour pallier ces manquements, un certain nombre d'applications mobiles et d'objets portables « wearable » ont été proposés pour détecter l'imminence de collisions entre les piétons et les véhicules.
- **Les communications V2R ou V2C (Véhicule à Réseau ou Véhicule à Cloud)** permettent aux véhicules d'utiliser les réseaux cellulaires pour communiquer avec les plateformes de service distantes. Dans ce cas, le véhicule est considéré comme un équipement du réseau mobile au même titre que le téléphone portable ou la tablette. Accéder à l'infrastructure des réseaux cellulaires des opérateurs permet aux véhicules de recevoir des alertes relatives aux différentes conditions routières (météo, congestion, accidents, etc.) ou encore de communiquer avec les véhicules voisins via le réseau cellulaire.

Les infrastructures de communication pour les véhicules connectés

L'infrastructure de télécommunication permet d'établir des liens pour le transfert d'informations entre les véhicules connectés et les plateformes de service. Les communications V2X sont généralement basées sur l'une ou l'autre de ces deux technologies de communication :

- Les communications à courte distance basées sur le standard IEEE 802.11p connu sous le nom d'ITS-G5 en Europe et de DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) aux Etats Unis.
- Les communications véhiculaires cellulaires connues sous le nom C-V2X (*Cellular V2X*) incluant le standard LTE-V2X basé sur les réseaux cellulaires LTE¹⁰ ou encore 5G NR-V2X utilisant la cinquième génération de réseaux mobiles.

La figure 2 illustre les différents éléments qui peuvent être utilisés pour les communications V2X.

L'infrastructure de communication ITS-G5 de l'ETSI

Les premières communications entre véhicules remontent à plus de vingt ans où il était question d'adapter le protocole IEEE 802.11 (Wi-Fi) conçu initialement pour les réseaux ad hoc sans fil au contexte véhiculaire caractérisé par la nécessité de respecter un délai de communication faible afin de s'adapter à la mobilité des véhicules. Une nouvelle norme a vu le jour et a donné lieu aux réseaux ad hoc véhiculaires ou VANETS¹¹. Aux États-Unis, le nom du standard de communication pour les réseaux véhiculaires est connu sous le nom de DSRC qui utilise une bande de fréquences de 75 MHz dans la bande de fréquences des 5,9 GHz allouée à ce type de communications. Dans les VANETS, les communications avec l'infrastructure se font à travers les UBRs (Unités de Bord de Route) (cf. figure 2). Les UBRs peuvent interpréter localement les messages envoyés par les véhicules ou les remonter vers des plateformes de service distantes pour analyse et traitement.

¹⁰ Long Term Evolution

¹¹ Vehicular Ad hoc NETWORKS

Véhicule connecté : Environnement, Architectures et Défis

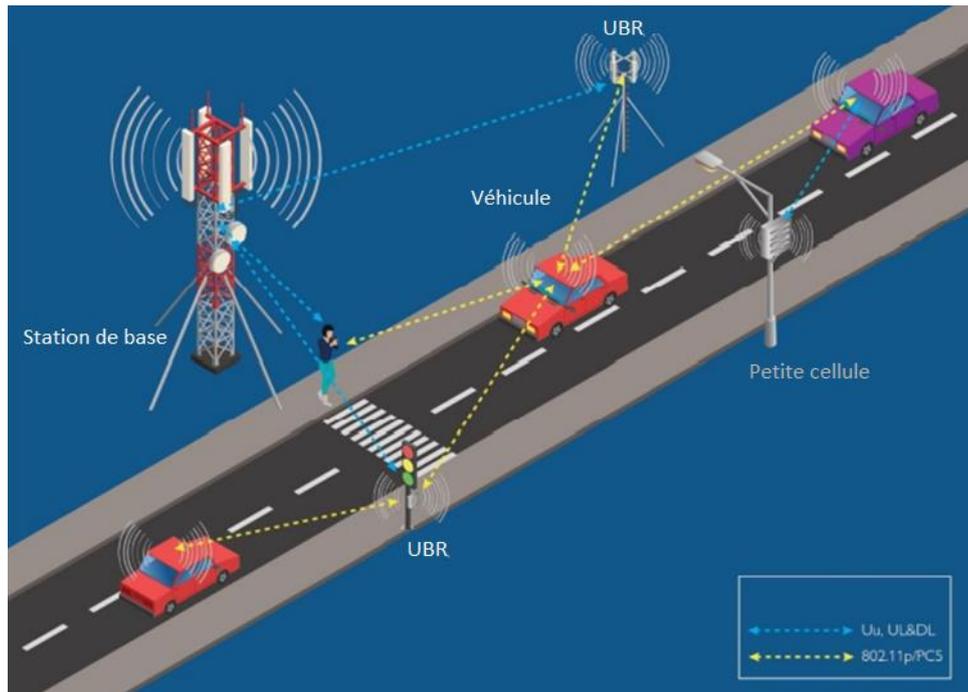


Figure 2 : Les communications V2X utilisant l'infrastructure cellulaire et les communications directes à courte portée (source adaptation en français [2])

Le standard DSRC utilise une pile de protocoles connue sous le nom WAVE¹² [6] composée par les protocoles suivants :

- Le protocole IEEE 802.11p : qui définit la couche physique et accès au médium adapté aux réseaux véhiculaires.
- La famille des protocoles IEEE (1609.1, 1609.2, 1609.3 et 1609.4) qui définissent les fonctions de la couche réseau, transport, application ainsi que les services de sécurité et la transmission multi-canal.

L'implémentation du protocole de communication pour les VANETs en Europe, connue sous le nom d'ITS-G5 a été faite sous l'égide de l'ETSI [4]. Elle se base sur le protocole IEEE 802.11p au niveau des couches d'accès. Les deux standards sont néanmoins différents au niveau des couches supérieures (réseau, transport et application). Par ailleurs, l'ITS-G5 introduit 4 bandes de fréquence dédiées aux communications véhiculaires dans l'union européenne comme indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1 : Allocation de fréquences pour les applications ITS dans l'union européenne

Bande de fréquences	Intervalle de valeurs [MHz]	Usage
ITS-G5A	De 5875 à 5905	Applications ITS de sécurité routière
ITS-G5B	De 5855 à 5875	Applications ITS non relatives à la sécurité routière
ITS-G5C	De 5470 à 5725	Réseaux locaux sans fil/Réseaux radio à haut débit
ITS-G5D	De 5905 à 5925	Applications ITS futures

¹² Wireless Access in Vehicular Environments

Au-dessus de la couche MAC IEEE 802.11p, le standard introduit la couche d'accès ITS-G5 qui utilise la fonction décentralisée du contrôle de congestion DCC¹³. Cette dernière a pour but de contrôler la charge des données sur les canaux sans fil afin de garantir la fiabilité et l'efficacité de transmission. La fonction DCC intervient aussi aux niveaux des couches réseau et transport afin de garantir l'évitement de collision dans toutes les couches de transmission.

Malgré tous les efforts de standardisation effectués par l'IEEE ou l'ETSI pour assurer une communication fiable entre les véhicules, la bande de fréquences aux alentours des 5,9 GHz devient insuffisante pour satisfaire les exigences croissantes des applications véhiculaires de plus en plus gourmandes en débit et exigeantes en délai. Pour ces raisons, les réseaux cellulaires de 5^{ème} génération constituent un candidat privilégié pour porter les communications véhiculaires.

L'infrastructure de communication C-V2X

L'utilisation des réseaux cellulaires pour les communications véhiculaires a été introduite en 2017 par le 3GPP¹⁴ dans la version 14 de ses spécifications qui définit le service LTE-V2X comme une extension du service D2D¹⁵ qui assurait des communications de proximité entre les terminaux mobiles. Au départ les communications LTE-V2X portaient des services ITS basiques comme l'échange de messages d'alerte d'une manière coopérative pour améliorer la sécurité routière.

Pour offrir ces nouveaux services plusieurs amendements ont ajoutés à la norme LTE incluant l'agrégation de porteuses ou la modulation d'amplitude en quadrature 64-QAM¹⁶ diffusant 8 bits par symbole.

Dans la version 16 [5] des spécifications, le 3GPP introduit l'utilisation de la 5G pour les communications V2X (5G-V2X) basées sur la nouvelle radio NR¹⁷. Dans les communications 5G-V2X directes (V2V, V2I et V2P), le réseau utilise l'interface PC5 du véhicule ou de la station de base 5G. L'interface PC5 est basée sur la technologie « sidelink » qui est une adaptation du standard LTE pour les communications D2D. Utilisée pour les liens directs, PC5 offre de meilleures performances en termes d'efficacité, de coût et de portée comparées aux technologies ITS-G5 de l'ETSI et le DSRC américain.

La communication cellulaire 5G-V2X peut aussi se faire en utilisant les communications V2R via l'interface 5G NR Uu. Ces communications peuvent être point à point, multipoints ou en diffusion. Les entités ITS (stations de base, véhicules, etc.) peuvent communiquer simultanément sur les interfaces PC5 et NR Uu aussi bien sur la voie montante que descendante.

Le tableau 2 compare les communications ITS-G5 et 5G-V2X. Nous remarquons que les communications 5G-V2X sont de loin meilleures que ITS-G5 en termes de débit et de support de la mobilité. On peut désormais conclure que les réseaux cellulaires représenteront le futur des communications véhiculaires et des ITS en général [7].

¹³ Decentralized Congestion control function

¹⁴ 3rd Generation Partnership Project (3GPP) est une coopération entre différents organismes de normalisation en télécommunications

¹⁵ Device to Device

¹⁶ Quadrature amplitude modulation

¹⁷ New radio

Véhicule connecté : Environnement, Architectures et Défis

Tableau 2 : Comparaison des communications ITS-G5 et 5G-V2X

Critère de comparaison	ITS-G5	5G-V2X
Bande de fréquence	5,9 GHz qui est libre d'accès	5,9 GHz pour les communications directes
Technique de multiplexage	OFDM	SC-FDM
Accès au médium	CSMA/CA	Transmission semi-persistante basée sur l'écoute du canal
Synchronisation	Asynchrone	Synchrone
Modulation	QPSK ¹⁸	256-QAM
Débit	Jusqu'à 27 Mbit/s	Jusqu'à 1 Gbit/s
Support de la mobilité	Jusqu'à 60 km/h	Jusqu'à 500 km/h
Topologie	Multi-sauts	Un saut
Paradigme de communication	Nativement broadcast	Unicast et multicast

Pour résumer, les communications C-V2X utilisent l'interface Uu pour les communications du véhicule vers les stations de base et l'interface PC5 pour les communications directes V2V, V2P ou V2I dans la bande des 5,9 GHz partagée avec ITS-G5.

Selon la décision 2008/671/CE de la Commission européenne, les fréquences entre 5 875 et 5 905 MHz ont été harmonisées pour les applications des systèmes de transport intelligents liées à la sécurité. Ainsi, selon la réglementation européenne C-V2X et ITS-G5 ont le même droit pour accéder à la bande 5,9 GHz. Même si les deux normes opèrent différemment au niveau des couches physiques et d'accès au médium, des transmissions simultanées sur les mêmes bandes de fréquences engendreront des interférences. Actuellement, aucun cadre législatif ne résout cette contradiction. Concernant l'industrie, certains constructeurs automobiles ont eu une préférence pour la norme ITS-G5 compte tenu de la maturité de cette norme comme Volkswagen et Renault. D'autres constructeurs optent pour C-V2X comme BMW et Ford.

L'existence de deux normes fait peser également l'incertitude sur le déploiement de l'infrastructure de bord de route : quelle norme appliquer. Elle s'ajoute à celle concernant les acteurs en charge de son déploiement. En particulier pour les UBRs le long des routes/autoroutes, les textes européens stipulent qu'il « est difficile de prédire quel pourrait être l'acteur en charge de leur déploiement : État, collectivités territoriales, gestionnaires autoroutiers, acteurs privés... ». Il pourrait aussi être envisagé d'exploiter les infrastructures des réseaux d'opérateurs mais là encore aucun modus operandi n'a encore proposé notamment à cause du caractère récent des communications C-V2X.

Les classes d'applications et leurs exigences pour véhicules connectés

Chaque année, plus d'un million de personnes meurent sur les routes dans le monde et 50 millions sont blessées. L'insécurité routière est la principale cause de mortalité des jeunes. Les systèmes de transport intelligents peuvent contribuer à réduire les risques de façon significative via, par exemple, la prévention des accidents : environ 60 % des collisions routières pourraient être évitées si le conducteur était averti au moins une demi-seconde avant la collision (brevet US N ° 5.613.039).

¹⁸ Quadrature phase shift Keying

De nombreuses applications dont l'origine est le monde des transports (applications ITS) ou le monde d'Internet, sont développées pour les véhicules connectés :

- **des applications de gestion de trafic routier** telles que l'aide à la conduite (aide aux dépassements de véhicules, prévention des sorties de voies en ligne ou en virage, etc.), la gestion de feux de circulation, la fourniture d'informations sur l'état de la route, de la météo et du trafic routier, le guidage et la planification d'itinéraires de contournement;
- **des applications de sécurité routière** telles que l'autonomie de conduite (ou voiture autonome), l'alerte sur l'état de la route, la prévention et l'alerte des accidents, la diffusion des messages rendant compte des accidents, des travaux ou encore des messages rappelant les limitations de vitesse ou les distances de sécurité, la gestion des secours (*e-Call*¹⁹), la protection des usagers les plus vulnérables (piétons, deux roues, ...)
- **des applications de diagnostic automobile** qui visent à offrir des services de diagnostic permettant de détecter à distance la panne d'un ou plusieurs composants du véhicule et ceci en utilisant différents capteurs (capteurs pour contrôler le niveau du carburant et sa qualité, des capteurs de température, des capteurs de châssis, de pression, de vitesse, etc.). Ainsi, les différentes technologies de communication citées plus haut peuvent être utilisées pour envoyer les informations collectées vers le service de maintenance des véhicules dans le cloud. La sauvegarde de l'état des pannes détectées par le passé permettra aussi de prévenir l'occurrence de nouvelles pannes via une forme de maintenance préventive.
- **des applications environnementales** où les informations sont collectées à partir de capteurs déployés au niveau de la chaussée. Ceci permet de déterminer les conditions de navigation routière à partir de la mesure d'un certain nombre de paramètres comme la température de la chaussée, l'identification de composants chimiques ou la mesure de frictions à la surface, etc.
- **et des applications de mobilité et confort** telles que des services de point d'intérêt (POI²⁰), des services d'information dans le cadre de plateformes multimodales, des services de conduite écologique, les services de gestion de flottes de véhicules, des services M2M (machine à machine), etc.

L'ensemble de ces applications ont des exigences, aussi bien techniques que socio-économiques et légales :

- **Exigences techniques** : ces exigences sont surtout liées aux capacités du système à faire face à un environnement fortement dynamique. On peut citer, par exemple :
 - la nécessité de protéger (intégrité et confidentialité) certaines données transitant entre véhicule et infrastructure ou entre les véhicules eux-mêmes ;
 - la nécessité d'une communication fiable dans un contexte où une densité de véhicules très variable (par exemple en cas d'embouteillages aux abords d'une ville) peut résulter en une connectivité intermittente ;
 - l'exigence d'une cartographie en permanence à jour et d'une précision de positionnement du véhicule.
- **Exigences stratégiques** : Ces exigences sont liées à la pénétration des véhicules connectés dans le parc automobile ainsi qu'aux stratégies de déploiement des équipements au sol définies par les différents acteurs, gouvernements, collectivités locales, fournisseurs d'applications etc. En effet

¹⁹ Emergency-Call -appels d'urgence

²⁰ Point of Interest

Véhicule connecté : Environnement, Architectures et Défis

une grosse partie des applications citées ci-dessus ne verra pas le jour sans un déploiement complet à la fois au niveau des véhicules et de l'infrastructure de bord de route.

- **Exigences socio-économiques** : Un élément essentiel est l'acceptation de la technologie par les conducteurs qui doivent également consentir à payer l'équipement du véhicule ainsi que les abonnements associés à l'usage du réseau et des services. En effet la mise en place des infrastructures au sol nécessitera des investissements qu'il faudra financer et l'usage des réseaux et des services devront voir leurs coûts d'usage couverts. Cet aspect est d'autant plus délicat que la pénétration de la technologie et des services risque de prendre quelques années.
- **Exigences légales** : L'apparition des véhicules connectés fait apparaître des questions juridiques nouvelles. Qui porterait la responsabilité en cas de non respect de la vie privée du client, comment éviter le pistage généralisé des véhicules ? Qui est responsable dans le cas d'accident survenant lorsque des aides à la conduite sont utilisées constructeur, équipementier, assureur ?

Défis de recherche liés au véhicule connecté

La diversification des applications pour véhicule connecté et l'augmentation considérable des données qu'elles engendrent font apparaître des contraintes techniques additionnelles auxquelles les systèmes ITS doivent satisfaire. Quelques défis scientifiques et techniques restent encore à relever pour assurer la meilleure qualité de service possible.

Enjeux de sécurité

Veiller à la protection et donc à l'intégrité et à la confidentialité des données lors des communications V2X est indispensable. Au niveau communication, les attaques potentielles sont nombreuses : écoute passive, saturation par bourrage de trafic, rejeu sélectif, envoi de fausses informations, etc. Quelques mécanismes de cryptographie et les systèmes de détection d'intrusion ont été donc proposés dans [9] afin d'assurer un niveau de sécurité élevé. La cryptographie est en mesure d'assurer l'authentification et la confidentialité des données échangées entre les véhicules. Par ailleurs, pour la détection des attaques avec une grande précision, une des solutions les plus fiables est l'utilisation des systèmes de détection d'intrusion.

Si aucun mécanisme de gestion de la vie privée et des données personnelles n'est implémenté en plus de l'authentification et du cryptage des données, les véhicules peuvent être traqués à distance et les informations relatives aux véhicules, aux conducteurs, leurs comportements, etc. peuvent être collectées par les autorités, les infrastructures et autres institutions.

Enjeux relatifs au respect de la vie privée et des données personnelles

Les véhicules connectés posent la question du respect de la vie privée et de la sécurité des données. Le CEPD²¹ rappelle que les traitements doivent être conformes au RGPD²². Constitue un traitement de données personnelles toute opération (collecte, enregistrement, conservation, modification, extraction, consultation, utilisation, communication, interconnexion, destruction, etc.) portant sur des données personnelles [3].

Ainsi, pour protéger les données personnelles, ces dernières doivent être anonymisées, c'est-à-dire que même si elles étaient interceptées, elles ne devraient pas révéler l'identité du propriétaire. Plusieurs techniques ont été utilisées pour anonymiser les données comme le masquage qui permet

²¹ Comité européen de la protection des données

²² Règlement général sur la protection des données

l'accès à une version modifiée des données sensibles, ou la « pseudonymisation » qui consiste à remplacer les données privées par des pseudonymes ou une fausse identité, etc.

Ainsi, le respect des données personnelles constitue un enjeu de taille pour les véhicules connectés parce qu'une grande quantité d'informations vient des véhicules (localisation, vitesse, etc.). Selon l'infrastructure de réseau utilisée, il faudra identifier quelles entités ITS seront mandatées pour les anonymiser.

Enjeux relatifs au grand volume de données ou « Big data »

L'augmentation du nombre d'applications supportées par les systèmes ITS en général et les véhicules connectés en particulier engendre un volume de données de plus en plus important. Ainsi, chaque véhicule connecté devrait engendrer aux alentours de 4000 giga octets (Go) de données par jour. Si on ajoute à cela la navigation autonome, un véhicule autonome devrait produire 13 millions de Go par an.

Afin de gérer un tel volume de données, il faut faire appel aux technologies « Big data » (comme Hadoop²³, par exemple) dont le but est d'appliquer des techniques d'analyse et de fouille de données afin d'extraire l'information utile qui sera par la suite utilisée à des fins de prédiction/prévention (prédiction de la trajectoire, des pannes, prévention des accidents, etc.). Ces enjeux seront très importants et différents selon le scénario ou le cas d'étude à considérer.

Enjeux pour le véhicule autonome

Un véhicule autonome est un véhicule à délégation de conduite ou dont la conduite est entièrement automatisée qui est capable de rouler sans intervention d'un conducteur. Promises pour 2020, les premières voitures entièrement autonomes peinent à arriver sur le marché. Le premier spécimen dans cette catégorie est l'Autopilot de Tesla²⁴ qui est un système d'assistance au conducteur basé sur huit caméras extérieures et un système sophistiqué de traitement d'images. Les autorités américaines ont rapporté que la fonctionnalité de conduite entièrement autonome de l'Autopilot a été la cause de 230 accidents de voiture entre juillet 2021 et juin 2022 sur les routes.

Ainsi les enjeux pour les véhicules autonomes sont énormes. Ils sont relatifs d'abord au grand volume de données généré par ces véhicules. Ils sont aussi en rapport avec l'efficacité des algorithmes d'intelligence artificielle impliqués dans la prise de décision lors de la conduite automatique. Par ailleurs, afin d'accroître l'efficacité d'un tel système, l'extension des infrastructures sera aussi nécessaire (au niveau de la chaussée, des feux de signalisation, etc.) afin de mieux communiquer avec les véhicules. L'enjeu écologique est aussi de taille. Même si la conduite automatique réduit les émissions de CO2 grâce à une gestion optimisée du carburant, l'échange permanent d'un grand volume de données aura un impact écologique non négligeable.

Conclusion

Les véhicules connectés deviendront incontournables dans notre vie. Ils constitueront l'un des composants clés des systèmes de transports intelligents en offrant un large panel d'applications visant essentiellement la sécurité routière, la gestion du trafic et d'une manière générale l'amélioration de la qualité de l'expérience de conduite automobile que cette conduite soit assistée ou complètement automatisée. Pour ce faire, des technologies de communication dédiées (ITS-G5 ou C-V2X) ainsi que

²³ Hadoop est un Framework Java open source utilisé pour le stockage et traitement des big data. Les données sont stockées sur des serveurs standard peu coûteux configurés en clusters.

²⁴ C'est un constructeur automobile de voitures électriques dont le siège social se situe à Austin, au Texas, aux États-Unis.

Véhicule connecté : Environnement, Architectures et Défis

les nœuds capteurs ont été et seront massivement déployés à la fois à l'intérieur des véhicules et entre les véhicules pour collecter les informations à partir d'évènements se produisant dans le véhicule ou sur la chaussée et communiquer ces informations aux véhicules voisins ou via les stations de base/UBR aux plateformes de service distantes.

Mais d'ici là un certain nombre de défis sont à relever, des défis techniques certes mais également des défis économiques et sociétaux comme par exemple celui du déploiement de l'infrastructure de bord de route adaptée aux applications envisagées.

Bibliographie

- [1] "Recommended LTE-V2X Related Amendments to ETSI ITS Test Specifications - 5GAA", site web 5G Automated Association (5GAA), <https://5gaa.org/>.
- [2] "Cost Analysis of V2I Deployment Final Report", 5GAA 7720475 ED 13276, année 2020.
- [3] "Que couvre le traitement des données ?", site web officiel de la commission européenne, <https://commission.europa.eu/>.
- [4] "Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band", ETSI EN 302 663 V1.2.0 (2012-11).
- [5] ETSI TS 124 587: V16.1.1 (2020-08). "5G; Vehicle-to-Everything (V2X) services in 5G System (5GS); Stage 3 (3GPP TS 24.587 version 16.1.1 Release 16)."
- [6] IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Certificate Management Interfaces for End Entities, in IEEE Std 1609.2.1-2022, 30 June 2022, doi: 10.1109/IEEESTD.2022.9810154.
- [7] "On 5G-V2X Use Cases and Enabling Technologies: A Comprehensive Survey", A. ALALEWI, I. DAYOUB and S. CHERKAoui, IEEE Access, Juillet 2021.
- [8] "Performance comparison between LTE-V2X and ITS-G5 under realistic urban scenarios", M. Karoui, A. Freitas and G. Chalhoub, VTC2020-Spring, May 2020.
- [9] "A new intrusion detection framework for vehicular networks", H. Sedjelmaci, S. Senouci, Sidney Australia: IEEE ICC'2014, 2014.
- [10] « Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems », J. Guerrero-Ibanez, S. Zeadally 2 et J. Contreras-Castillo, Sensors Journal, Avril 2018.

Les auteurs

Inès EL KORBI maîtresse de conférences HDR au laboratoire DRIVE, Université de Bourgogne. Elle a travaillé pendant plusieurs années sur différentes thématiques de recherche autour du réseau de capteurs sans fil. Actuellement, ses travaux de recherche portent sur les véhicules connectés.

Sidi-Mohammed Senouci Professeur des Universités et directeur du laboratoire DRIVE.

Fetulhak Abdurahman Doctorant en cotutelle entre l'Université de Bourgogne et l'Université de Jimma en Ethiopie.

Abstract

A connected vehicle network can vastly improve our transportation system in the areas of safety, mobility, and environment. This technology provides connectivity among vehicles to enable crash prevention and between vehicles and the infrastructure to enable safety, mobility, and environmental

benefits. This paper provides an overview of connected vehicle technology, the main applications and services and the related challenges.

Résumé

Un réseau de véhicules connectés peut grandement améliorer notre système de transport dans les domaines de la sécurité routière, de la mobilité et de l'environnement. Cette technologie fournit une connectivité entre les véhicules pour permettre la prévention des accidents et entre les véhicules et l'infrastructure pour permettre la sécurité, la mobilité et améliorer l'impact sur l'environnement. Ce document donne un aperçu de la technologie des véhicules connectés, des principales applications et services et des défis associés.