

## **Véhicule Autonome et Connecté: Perception par V2X**



### **Étudiants :**

Théophile BESSIERE

Bouchra BENISSI

Rym ABDELLAH EL HIRTSI

Adélie LINTINGRE

Ines SILHADI

Zelin XIONG

### **Enseignant-responsable du projet :**

Mr. Abdelaziz BENSRAIR



Date de remise du rapport : **11/06/2022**

Référence du projet : **STPI/P6/2022 – 002**

Intitulé du projet : **Véhicule Autonome et Connecté: Perception par V2X**

Type de projet : **Bibliographie et état de l'art**

Objectifs du projet :

- Etat de l'art de la V2X
- Analyser les apports de la 5G à la V2X et particulièrement à la communication avec les piétons
- Découvrir les protocoles et applications de la V2X

Mots-clefs du projet : **Communication, Protocoles, 5G, Piéton.**

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
<b>2. Méthodologie et Organisation du travail</b>	<b>7</b>
<b>3. Présentation du véhicule autonome</b>	<b>8</b>
3.1 Historique	8
3.2 Concept du véhicule autonome	8
3.3 Objectifs de la V2X	9
<b>4. Etat de l'art</b>	<b>10</b>
4.1 Présentation générale de la V2X	10
4.2 Avantages et limites	11
4.3 Déclinaisons de la V2X	12
<b>5. Protocoles, Normes, Réseaux</b>	<b>14</b>
5.1 Réseaux ad hoc VANET - Vehicle ad hoc Network	14
5.2 DSRC - Dedicated Short Range Communications	14
5.3 C-V2X - Cellular Vehicle-to-Everything	15
5.4 Conclusion sur l'utilisation des protocoles	16
<b>6. Apport de la 5G à la V2P</b>	<b>17</b>
6.1. La communication V2P	17
6.2. 5G et V2X	17
6.3. 5G et sécurité des piétons	19
<b>7. Applications</b>	<b>20</b>
7.1 La phase de démarrage des applications de la V2X	20
7.2 La technologie V2X dans différents pays	20
7.3 L'avenir des applications de la V2X	21
<b>8. Conclusions et perspectives</b>	<b>22</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>23</b>

## NOTATIONS, ACRONYMES

- **V2X** : Vehicle to Everything
- **V2G** : Vehicle to Grid
- **V2I** : Vehicle to Infrastructure
- **V2P** : Vehicle to Pedestrian
- **V2V** : Vehicle to Vehicle
- **V2N** : Vehicle to Network
- **DSRC** : Dedicated Short Range Communications
- **C-V2X** : Cellular Vehicle to Everything
- **STI** : Système de Transport Intelligent
- **WLAN** : Wireless Local Area Network
- **LTE** : Long Term Evolution
- **EPS**: Electronic Stability Program
- **MANET** : Mobile Ad Hoc Network
- **VANET** : Vehicle Ad Hoc Network
- **3GPP**: 3rd Generation Partnership Project

## 1. INTRODUCTION

L'invention de l'automobile en 1875 lors de la Révolution Industrielle a entraîné un changement majeur dans nos sociétés au cours du XXème siècle. Elle s'est rapidement imposée comme le moyen de transport privilégié pour la circulation des individus et des marchandises. En 2021 on dénombre près de 80 millions de véhicules vendus à travers le globe. Cependant, l'automobile possède également ses travers notamment un taux de mortalité routière élevé et des routes toujours plus saturées.

Avec environ 1,3 million de personnes tuées et plusieurs dizaines de millions de blessés chaque année dans le monde, les accidents de la route représentent la première cause de décès chez les jeunes de 15 à 29 ans et la deuxième dans le monde, d'après l'organisation mondiale de la santé. Cela représente également un coût conséquent pour les Etats. En France c'est environ 2% du PIB soit tout de même près de 30 milliards d'euros par an. Dans 90% des cas, les usagers sont la cause de l'accident. Cela peut être lié à de multiples facteurs notamment la vitesse, la fatigue, le manque d'attention (lorsque l'on répond à un SMS au volant), etc. L'idée de créer un véhicule intelligent qui pourrait assurer la sécurité des usagers en toute autonomie semble alors être un enjeu de taille.

La V2X est l'un des outils technologiques qui va participer à rendre les véhicules entièrement autonomes. Dans ce rapport, nous présenterons cette technologie et ses déclinaisons ainsi que les protocoles, réseaux et normes. Nous aborderons ensuite le sujet de la 5G et de son apport à la V2P, avant de traiter l'application de la communication dans le monde.

## 2. MÉTHODOLOGIE ET ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous nous sommes réunis chaque lundi dans une salle de projet pour réaliser nos sessions de travail encadrées par le responsable de notre projet M.BENSRHAIR. A la demande de M.BENSRHAIR, nous avons décidé d'une cheffe de groupe, Ines SILHADI, afin qu'elle soit un intermédiaire entre le professeur et le groupe et qu'elle s'assure de la coordination du travail. Les premières séances ont fait office de séances de découverte du sujet. Notre encadrant a entre autres diffusé des vidéos explicatives et apporté les informations nécessaires. Nous avons fait quelques recherches de notre côté. Nous avons par la suite mis au point un plan de travail. Une fois le plan validé par M.BENSRHAIR, nous avons procédé à la répartition des tâches. Nous avons effectué, chacun de notre côté, des recherches plus poussées sur nos parties respectives et avons rédigé nos parties du rapport. Afin d'assurer une bonne cohésion, en plus des réunions hebdomadaires, nous avons créé un groupe Messenger afin d'échanger et un dossier Google Drive pour que chacun ait accès à l'ensemble du travail réalisé.

La répartition des tâches entre les membres de notre groupe est la suivante:

Théophile	Rym	Bouchra	Adélie	Ines	Zelin
Introduction	Déclinaisons V2N, V2I, V2V, V2P	Présentation générale et fonctionnement de la V2X	Protocoles, normes, réseaux	Apport de la 5G à la V2P	Applications de la V2X
Présentation véhicule autonome		Avantages et limites de la V2X	Conclusion	Conclusion	

### 3. PRÉSENTATION DU VÉHICULE AUTONOME

#### 3.1 Historique

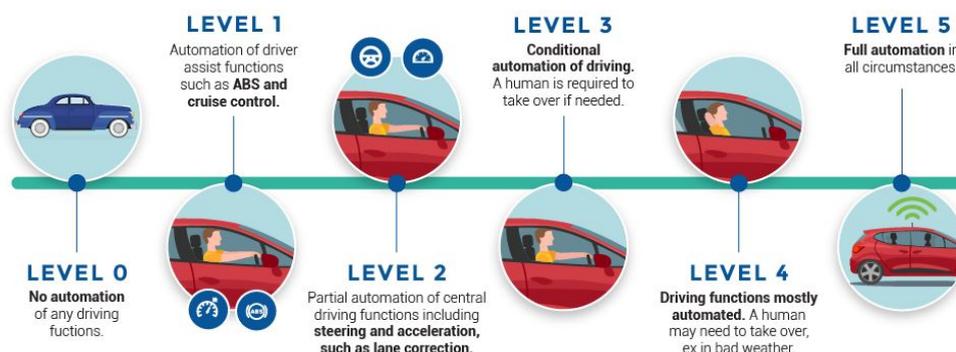
La première voiture autonome a été créée en 1977 par des ingénieurs japonais. La technologie embarquée permettait au véhicule de rouler à 30km/h sur une portion de route délimitée par des marquages au sol, qui étaient détectés par des caméras.

En 1987, un fond de 800 millions d'euros a été débloqué par la commission européenne pour financer le développement d'outils technologiques de conduite autonome.

Dans les années 2000 les progrès faits dans le domaine de la communication ont permis à des géants comme Google ou Tesla de développer indépendamment leurs produits. On trouve par exemple le pilote automatique, qui permet une conduite mains-libre sur autoroute. De nos jours, les voitures autonomes peuvent s'adapter à tous types de situations : parking, route, embouteillages, villes,... Elles prennent de plus en plus de place dans notre société et il est probable que d'autres formes de véhicules autonomes apparaissent dans les années à venir.

#### 3.2 Concept du véhicule autonome

Le véhicule autonome se définit par sa capacité à circuler sans bénéficier d'un contrôle humain. Il est en mesure de capter et d'analyser son environnement grâce aux diverses technologies dont il est équipé et d'agir en conséquence. Le concept a vu le jour dans les années 70, les Japonais en étant les précurseurs. Depuis, les grandes puissances et les acteurs privés se sont lancés dans la course au développement d'une voiture complètement autonome, une voiture sans angles morts. Aboutir à la création de tels véhicules assurerait une sécurité supplémentaire aux usagers de la route et développerait l'usage d'activités récréatives de la voiture.



Paliers d'autonomie [1]

Le niveau d'autonomie atteint par un véhicule est défini par une échelle à 6 paliers, pour 6 niveaux d'autonomie (voir figure ci-dessus). Les véhicules que l'on trouve dans le commerce actuellement peuvent être considérés pour la majorité d'entre eux comme étant du niveau 2. Cela signifie que le conducteur doit rester vigilant en permanence bien qu'il bénéficie d'une assistance ponctuelle, par exemple lorsqu'il se gare ou encore pour rester au milieu de sa voie lors d'un virage. L'objectif des chercheurs est d'atteindre le palier 5, pour une voiture entièrement autonome.

Pour réussir à atteindre une autonomie fonctionnelle, la voiture doit embarquer des outils de détection ultra précis et de dernière technologie. Comme des capteurs pour repérer les obstacles et évaluer les distances autour de la voiture ainsi que la géolocalisation par satellite (GPS), pour situer la voiture à tout instant. Toutes ces connexions entre le véhicule et son environnement sont rassemblées sous l'écriture "Vehicle to Everything" que l'on simplifie en V2X. C'est sur cet aspect précis du véhicule autonome que nous allons nous concentrer.

### **3.3 Objectifs de la V2X**

La V2X est un système de communication véhiculaire qui permet un échange entre le véhicule, les piétons et les infrastructures. La V2X se décline sous d'autres types de communications plus spécifiques qui seront développés plus en détails par la suite.

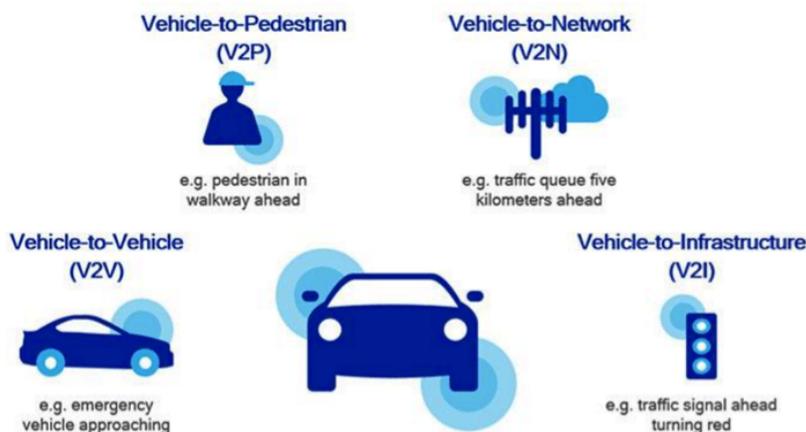
On peut dénombrer trois objectifs principaux de la V2X. Le premier est d'assurer la sécurité routière pour tous les usagers. Vient ensuite le désir d'instaurer un flux automobile plus fluide. Le partage quasiment instantané des informations GPS par connexion 5G entre les véhicules présents dans un rayon de quelques centaines de mètres permettra de diminuer au maximum les temps de réactions et ainsi de réduire drastiquement les embouteillages et autres perturbations de la circulation grâce à une synchronisation des véhicules. Le troisième objectif qui découle indirectement des précédents est de préserver l'environnement en économisant de l'énergie, grâce à une conduite plus souple, anticipative et durable.

## 4. ETAT DE L'ART

### 4.1 Présentation générale de la V2X

Actuellement, les systèmes de transport intelligents (STI) se développent activement, leur fonctionnement est impossible sans la création de systèmes de télécommunication permettant aux véhicules d'échanger des informations avec des appareils externes.

La technologie V2X est une technologie de communication sans fil de nouvelle génération qui fait référence à la transmission d'informations d'un véhicule à une autre entité pouvant affecter le véhicule, et vice-versa. C'est un système de communication qui permet aux véhicules d'échanger des informations : entre eux (V2V), avec les piétons et autres usagers vulnérables (V2P), avec les composants qui régulent et bordent le réseau routier (V2I), et via EPS, avec l'équipement utilisateur (UE) et le serveur d'applications qui prennent en charge la communication (V2N).



*Déclinaisons de la V2X [2]*

- **Comment fonctionne la V2X?**

Dans un système de communication V2X, les informations proviennent des capteurs (radars, lidars, caméras) équipés autour du véhicule, qui ne traitent que les signaux reçus en ligne-de-vue directe et ayant une communication à sens unique pour fournir à la voiture des informations sur l'environnement proche en l'éclairant physiquement avec des lasers, les autres sources d'informations sont assurées via des liaisons à large bande passante et à haute fiabilité, ce qui permet au véhicule de recevoir des messages radio non « bloqués »

par les obstacles, ainsi que de communiquer avec d'autres voitures ou des infrastructures telles que des places de stationnement et des feux de signalisation. Ou encore avec des piétons grâce à leur smartphone. Cette communication est déployée sur la base de deux technologies principales:

- V2X basé sur le Wifi: elle fait partie de la famille de normes WLAN IEEE 802.11, et est connue aux États-Unis sous le nom de Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) et en Europe sous le nom ITS-G5, et prend en charge la communication directe entre véhicules (V2V) et entre véhicules et infrastructure (V2I)
- V2X basé sur le réseau de téléphonie mobile, appelé V2X cellulaire(C-V2X), qui en plus de la communication directe (V2V, V2I), prend également en charge les communications étendues sur un réseau cellulaire (V2N).

Le protocole C-V2X a l'avantage d'être plus rapide grâce au temps de latence ultra-court, et la 5G comme base de la C-V2X est jugée préférable par les constructeurs car elle est plus performante au niveau de la transmission de données. C'est d'ailleurs le standard choisi par les USA et la Chine. L'Europe, d'autre part, qui voulait imposer le Wi-Fi envers et contre tout, a fini par capituler sous la pression des constructeurs qui ont multiplié les démonstrations pour mettre en valeur la 5G [3].

## 4.2 Avantages et limites de la V2X

### ● Avantages

- Optimisation du temps des trajets en toute sécurité et de manière rentable, grâce à la disponibilité des informations sur le trafic, à l'assistance au stationnement et l'optimisation de consommation du carburant.
- Prévention des pannes possibles et accidents et réduction du coût d'exploitation, grâce aux fonctions de gestion et de sécurité du véhicule qui permettent de recevoir des informations concernant son état et des rappels liés à son entretien.
- Déclenchement du système de freinage automatique en cas d'urgence.
- Fonctions de conduite automatique partielle ou totale.

### ● Limites

- Les risques d'ingérence informatique: le fonctionnement des voitures autonomes repose sur un système informatique susceptible de faire l'objet de défaillances ou de tentatives de piratage.
- Le système de conduite autonome peut avoir des conséquences fatales en cas de panne du système.

Il faudra du temps pour que tous les avantages des systèmes V2X se concrétisent car, pour qu'un véhicule puisse communiquer avec une entité, cette entité doit être équipée de la technologie V2X. La plupart des entités telles que les places de stationnement, les feux de circulation et les véhicules traditionnels ne disposent pas des systèmes V2X, ce qui signifie qu'elles ne peuvent pas communiquer avec les véhicules utilisant déjà le système.

### 4.3 Les déclinaisons de la V2X

Chaque année, les accidents de la route coûtent la vie à 1,3 million de personnes dans le monde [4]. Les technologies des véhicules connectés ont été développées pour apporter aux conducteurs les outils dont ils ont besoin pour anticiper les potentiels accidents. Dans cette partie, nous allons traiter ces différentes technologies.

- **La communication V2V**

La communication V2V permet aux véhicules d'échanger sans fil des informations sur leur vitesse, leur emplacement, leur sens de direction, le freinage, la perte de stabilité.

La V2V permet ainsi aux véhicules de diffuser et de recevoir des messages omnidirectionnels (jusqu'à 10 par seconde), créant une « conscience » à 360 degrés des autres véhicules à proximité.

Les véhicules équipés d'un logiciel approprié peuvent utiliser les messages des véhicules pour déterminer les menaces d'accident potentielles. Dans le cas d'une alerte collision, les voyants apparaissent sur le tableau de bord et le siège du conducteur peut se mettre à vibrer pour alerter le conducteur des risques [5].

- **La communication V2I**

La technologie véhicule-infrastructure (V2I) [6] se définit comme étant une communication qui permet aux véhicules de partager des informations avec les composants de l'infrastructure d'une variété d'appareils soutenant le réseau routier tels que les marquages au sol, les panneaux de signalisation et les feux de circulation [7].

Il existe de nombreux éléments sur lesquels le système V2I est construit dont deux principaux: un composant d'application d'infrastructure logé sur la plateforme d'application d'infrastructure et un composant d'application de véhicule logé dans la plateforme d'application de véhicule. Ces composants intègrent et traitent à la fois les données de l'infrastructure et du véhicule pour transmettre un message coordonné au conducteur. La technologie V2I est généralement sans fil et bidirectionnelle; les informations

provenant des appareils d'infrastructure sont facilement transmises au véhicule via un réseau ad hoc.

- **La communication V2N**

Vehicle to Network est une technologie qui vise à transmettre des informations entre les véhicules et le système de gestion. Cette technologie facilite un échange coopératif d'informations entre les voitures, les camions, les feux de circulation, les marquages au sol et d'autres formes du réseau d'infrastructures routières. L'objectif est d'améliorer la sécurité routière en fournissant des conseils concernant les mises à jour routières envoyées en temps réel, améliorant ainsi la connectivité des véhicules.

La V2N présente des avantages, parmi lesquels on peut citer [8]:

- **Une mise en œuvre facile:** La mise en œuvre de V2N n'est pas difficile car une grande partie de l'infrastructure physique est facilement disponible.

- **Une circulation plus fluide:** Les systèmes de transport intelligents coopératifs (STI-C) permettent à l'ensemble du trafic de se préparer aux situations d'urgence bien à l'avance.

- **La communication V2P**

V2P (Vehicle-to-Pedestrian) implique des communications directes entre un véhicule et un piéton ou plusieurs piétons à proximité. En outre, la communication peut se faire avec d'autres usagers de la route vulnérables, tels que les cyclistes, enfants en poussette, personnes en fauteuil roulant, etc. C'est une technologie qui permet d'alerter le piéton ainsi que les conducteurs de véhicule autonome des dangers potentiels dans la rue [9].

Un système de prévention des collisions V2P implique un échange périodique de messages de sécurité entre les véhicules et les piétons. Cette communication peut se produire soit directement à l'aide de technologies de communication ad hoc, telles que IEEE 802.11p, soit indirectement à l'aide de la communication basée sur l'infrastructure, telle que la technologie cellulaire 5G (cf. parties 5 et 6). En outre, le système V2P effectue son fonctionnement en trois phases: détection, suivi et prédiction de trajectoire, et action [10].

## 5. PROTOCOLES, NORMES, RÉSEAUX

Caméras de recul, freinage automatique, alerte de franchissement involontaire de lignes, moniteur d'angles morts sont des exemples de fonctionnalités de plus en plus présentes dans les voitures de nos jours. Afin d'améliorer ces fonctionnalités et de les exploiter au maximum, il est de mesure d'introduire la communication sans fil, et notamment la V-2X, afin d'élargir le champ de vision et d'action du véhicule. Cependant, deux protocoles du réseau VANET sont en concurrence : la DSRC et la C-V2X, chacun ayant ses avantages et inconvénients.

### 5.1 Réseaux ad hoc VANET - Vehicle ad hoc Network

Ce réseau de communication ad hoc dérivé du MANET formé entre un groupe de véhicules à portée les uns des autres et entre les véhicules et les équipements fixes à portée permet principalement la communication entre véhicules et infrastructures [11] mais se développe petit à petit pour la V2X toute entière.

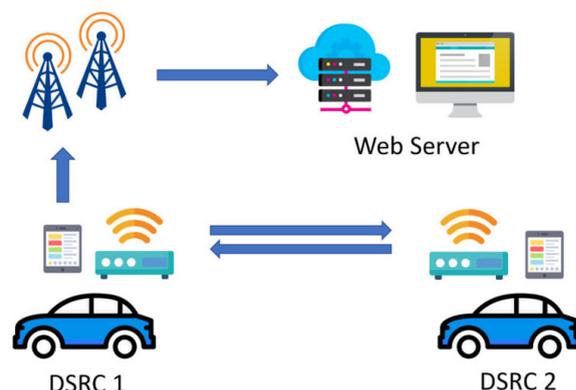
La principale caractéristique de ce type de réseau est la grande vitesse d'échanges d'informations : c'est un système de réseau utilisé dans le développement des transports intelligents, et donc dans notre cas, des véhicules autonomes. Dans ces types de réseau, on peut retrouver deux formes principales participant au développement des véhicules autonomes : la DSRC et la C-V2X.

### 5.2 DSRC - Dedicated Short Range Communications

Le protocole DSRC est une extension dérivée de la norme IEEE 802.11 (utilisée pour le WIFI), utilisant la bande 5.9 GHz, fréquence réservée pour les systèmes de transports intelligents. C'est une technologie utilisée encore aujourd'hui, notamment par les entreprises européennes et américaines, mais de plus en plus de sociétés, notamment aux Etats-Unis avec Ford ou encore en Chine, tendent vers l'utilisation de la C-V2X, qui remplacerait probablement l'autre protocole.

La DSRC est utilisée à l'aide d'un émetteur-récepteur ou un système d'appareil embarqué qui communique directement avec les autres véhicules afin d'échanger des informations importantes, notamment dans les préventions d'accidents.

Fonctionnement de la DSRC [12]



- **Avantages**

Le premier protocole cité ci-dessus a de nombreux avantages non négligeables qui font de cette technologie un point fort pour le futur de l'automobile. En effet, elle a été initialement introduite en 2010 [13], c'est donc une technologie qui a une dizaine d'années de test et de développement, elle est donc considérée comme plus fiable car toutes ces années de développement ont permis l'amélioration du protocole en résolvant les désavantages majeurs rencontrés au début de son introduction.

De plus, c'est un système avec peu de latence, de l'ordre de millièmes de secondes pour l'échange de données, et qui n'a besoin d'aucun accès aux réseaux cellulaires, ce qui fait de ce protocole une technologie sécurisée et fiable. En effet, cet échange de données entre deux véhicules se réalise sans intermédiaire (10 fois par seconde), ce qui est en plus avantageux dans toutes régions, ville ou campagne, car il n'existe aucun besoin de d'infrastructures de télécommunications [13].

- **Points faibles**

Néanmoins, il est important de souligner que ce protocole possède des défauts majeurs. On peut citer parmi ceux-ci l'utilisation de la norme IEEE 802.11p, qui est une norme relativement ancienne puisque déjà âgée d'une dizaine d'années, et de plus, cette même norme est basée sur la 802.11a, qui est elle âgée de plus de vingt ans : ce sont des normes qui ne peuvent être modifiées et améliorées facilement [14].

On peut ajouter aussi que cette technologie se limite à la V2V ainsi qu'à la V2I principalement, ce qui fait d'elle une technologie lacunaire pour la V2X, puisque plusieurs aspects de celle-ci sont manquantes, notamment l'interaction avec les piétons et le réseau (cloud). Il est nécessaire d'ajouter des équipements et du matériel supplémentaires pour que le véhicule autonome puisse interagir totalement avec son environnement, ce qui rend le dispositif relativement coûteux [14].

### 5.3 C-V2X - Cellular Vehicle-to-Everything

La C-V2X ou LTE-V2X, concurrent de la DSRC précédemment introduite, utilise la même technologie que celle de la SIM utilisée dans nos portables [15] : elle utilise à la fois la bande des opérateurs mobiles et la bande 5.9 GHz. Elle a été introduite par Qualcomm, entreprise multinationale américaine active dans le développement dans le domaine de la technologie mobile. Le "cellular" peut cependant prêter à confusion car en effet, ce n'est pas à l'utilisation des réseaux cellulaires qu'on fait référence, mais bien à la dimension électronique présente dans les radios "cellulaires" afin d'échanger des données d'une radio à une autre.

- **Avantages**

C'est une technologie de plus en plus adoptée car on retrouve une meilleure performance comparée à sa concurrente, notamment dans la vitesse d'échange de données ainsi que la distance d'échanges. La C-V2X interagit effectivement avec tous les aspects de la V2X, c'est-à-dire pour rappel la V2I, V2V, V2P et V2N : l'interaction avec l'environnement est totale. On retrouve aussi comme avantage majeur l'adaptabilité du protocole au vu des futurs réseaux mobiles tels que la 5G.

De plus, c'est un protocole relativement intéressant économiquement parlant puisque déjà intégrés dans les modems cellulaires, c'est-à-dire que l'ajout d'équipements supplémentaires n'est pas nécessaire puisque la communication est directe [14].

- **Points faibles**

Cependant, ce protocole a été récemment développé, ce qui fait d'elle une technologie peu testée. Elle doit donc être encore testée et améliorée afin d'être déployée à plus grande échelle : il faudrait donc encore plusieurs années afin d'avoir un protocole terminé et sécurisé, ce qui peut poser problèmes pour certaines entreprises puisque l'industrie de l'automobile tend à construire de plus en plus de véhicules autonomes et de systèmes d'aide à la conduite nécessitant des protocoles de communication sans-fil, ce qui peut engendrer un retard sur le développement de ces systèmes de transport intelligents par rapport aux entreprises ayant fait le choix de la DSRC.

## 5.4 Conclusion sur l'utilisation des protocoles

Le choix des deux protocoles n'est pas uniformément choisi par les grands groupes mondiaux de l'automobile : par exemple, c'est la DSRC qui a été choisie par Volkswagen et Renault, mais Ford a fait le choix de la C-V2X.

Une solution afin de perfectionner et sécuriser la V2X serait une approche hybride DSRC et C-V2X afin d'exploiter les avantages des deux protocoles et compenser les défauts de ces deux technologies. Cependant, aujourd'hui, elles ne sont pas compatibles, c'est-à-dire qu'une radio DSRC ne peut pas communiquer avec une radio C-V2X, mais nous pouvons espérer que dans un futur proche, cela soit le cas afin de pouvoir sécuriser au maximum les futurs systèmes de transports intelligents.

## 6. APPORT DE LA 5G À LA V2P

### 6.1. La communication V2P

La communication véhicule-piéton (V2P) se distingue des autres types de communication V2X étant donné qu'elle établit un lien entre une personne et un objet. En 2021, l'observatoire national interministériel de la sécurité routière (ONISR) a recensé 416 personnes tuées sur les routes de la métropole. Il est donc primordial de développer cette déclinaison de la V2X puisqu'elle assure la sécurité des usagers vulnérables, à savoir les piétons, grâce à la communication sans fil.

La communication entre véhicule et piéton est possible par le biais d'une connectivité avec le smartphone du piéton. Établir une connexion avec le smartphone des piétons a été un choix évident puisque bon nombre des accidents de la route (pour les piétons) est dû à un manque d'attention pour cause d'utilisation du smartphone. Lire et envoyer des textos réduit l'attention des piétons du trafic. Des avertissements leur sont envoyés afin de rediriger leur attention vers le trafic et réduire le risque d'accident. En ce qui concerne les véhicules, c'est une carte SIM embarquée qui prend en charge cette connectivité jusqu'à présent. Une autre possibilité est l'utilisation du smartphone du conducteur [16].

Les communications dédiées à courte portée (DSRC) sont un type de réseau permettant la communication entre le véhicule et le smartphone du piéton (cf. Partie 3). Le smartphone du piéton émet et reçoit des ondes DSRC. Le piéton et le véhicule à proximité l'un de l'autre reçoivent chacun un message: le véhicule est demandé de ralentir et le piéton est alerté de la présence d'un véhicule.

Cependant, cette technologie présente certains inconvénients qui font obstacle à la communication entre véhicules et piétons. C'est d'une part un réseau à portée limitée comme son nom l'indique et c'est d'autre part une déclinaison de la norme Wi-Fi IEEE 802.11x, ce qui implique qu'elle est confrontée aux mêmes problèmes que la norme Wi-Fi que nous expliquerons plus tard [17].

### 6.2. 5G et V2X

Afin de communiquer avec les piétons ou avec un télépéage ou même pour se connecter à un GPS, il est indispensable de recourir à Internet. Pendant longtemps, l'industrie automobile a privilégié le Wi-Fi pour développer la voiture connectée. Cette technologie est efficace dans la mesure où on a une faible latence mais elle présente quelques points faibles remettant en cause son efficacité, à savoir un délai d'installation et de reconnexion longs, auxquels s'ajoute une importante consommation de batterie des smartphones des piétons.

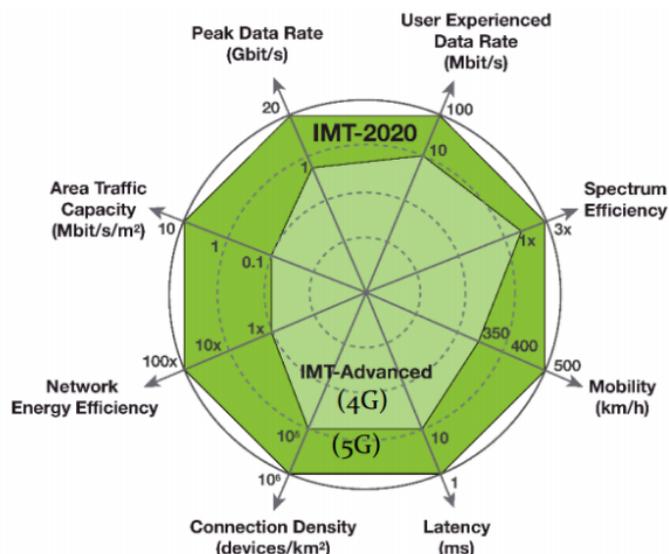
Au début des années 1990, la première génération de réseaux cellulaires modernes apparaît: la 2G, puis la 3G en 2001 et la 4G en 2010. Avec chaque génération, le débit a été multiplié par 10, l'énergie nécessaire pour transporter un message a diminué et la zone géographique couverte s'est étendue [18].

Les réseaux cellulaires se sont installés dans notre quotidien et représentent aujourd'hui une composante essentielle dans le développement des technologies de l'information dans le monde. Leur utilisation dans le cadre de la communication V2X a fait office de solution aux problèmes rencontrés avec le recours au Wi-Fi et à la DSRC. En effet, l'utilisation des technologies cellulaires, actuellement le réseau LTE, améliore la sécurité et la sensibilisation, permettant de fiabiliser la conduite autonome. En avril 2015, le Parlement européen a d'ailleurs adopté une loi exigeant que chaque véhicule produit après avril 2018 soit équipé d'une technologie cellulaire intégrée. Le dernier réseau cellulaire appliqué à la communication V2X est le LTE (Long-Term Evolution). Il s'agit de la norme de quatrième génération, basée sur la technologie 4G. Ce réseau a joué un rôle important dans la création de la norme 5G.

Depuis sa normalisation par le 3GPP (Projet de Partenariat de 3e Génération), l'organisme définissant les spécifications techniques sur les réseaux mobiles, la 5G est en cours d'introduction par les opérateurs dans le monde. Ce réseau se distingue par sa capacité à offrir des latences très courtes permettant de traiter des applications temps-réel impossibles à traiter avec les générations précédentes [18].

KEY ELEMENTS	DSRC/ IEEE 802.11	Rel 14 C- V2X	5G C-V2X (Rel 15,16) (expected)
Out-of-network operation	✓	✓	✓
Support for V2V	✓	✓	✓
Support for safety-critical uses	✓	✓	✗*
Support for V2P	✓	✓	✓
Support for V2I	limited	✓	✓
Support for multimedia services	✗	✓	✓
Network coverage support	limited	✓	✓
Global economies of scale	✗	✓	✓
Regulatory/testing efforts	✓	limited	✗
Very high throughput	✗	✗	✓
Very high reliability	✗	✗	✓
Wideband ranging and positioning	✗	✗	✓
Very low latency	✗	✗	✓

Comparaison des réseaux DSRC, LTE et 5G pour la V2X [19]



*Apports de la 5G par rapport à la 4G [20]*

La 5G apportera sans le moindre doute des améliorations notables à l'accès radio et à l'infrastructure du réseau. Actuellement, des essais sont réalisés aux États-Unis et en Europe et il est certain que ce réseau sera intégré dans la prochaine génération de voitures pour faire face aux nouveaux besoins du marché.

Malgré cette évolution dans le réseau utilisé pour la communication V2X, une compatibilité avec les versions précédentes sera garantie. En effet, les véhicules fonctionnant avec les générations précédentes fonctionneront correctement et pourront communiquer avec les nouvelles générations de réseau. Ainsi, la V2V sera réalisable entre un véhicule sous LTE et un autre véhicule sous 5G [19].

### 6.3. 5G et sécurité des piétons

Comme mentionné plus haut, la connectivité avec le piéton se réalise à l'aide des appareils intelligents à sa disposition (smartphone et éventuellement montre connectée). Ces appareils pourront envoyer et recevoir messages et alertes en interagissant avec le réseau mobile. L'opérateur mobile joue donc un rôle important dans la communication V2P pour les usagers vulnérables de la route puisqu'il prend en charge la diffusion d'alertes pour la sécurité des URV à l'écosystème des transports. Cette stratégie de communication est particulièrement utile lorsque les URV ne sont pas dans le champ de vision des capteurs du véhicule.

Les véhicules autonomes et connectés sont ainsi plus proches de relever le défi de garantir la sécurité des passagers et des piétons. En effet, si la latence est très faible, le véhicule sera au courant de la présence d'un piéton (et vice-versa) en un laps de temps très court, la réaction sera donc plus rapide et le risque d'accident réduit. De plus, étant donné que l'énergie nécessaire au transport d'un message est réduite, cela fait de la 5G un réseau plus adapté à la communication avec les smartphones des piétons dont la batterie ne sera pas excessivement consommée [19].

## 7. APPLICATIONS

Le développement de la technologie des voitures connectées est resté longtemps dans une phase théorique et expérimentale, en raison de l'absence de normes et de matériel uniformes pour accompagner cette technologie. En 2016, Toyota prend la tête du marché avec le lancement de voitures grand public dotées de la fonctionnalité V2X, suivi par le groupe General Motors aux États-Unis et le groupe Volkswagen en Europe. Selon une nouvelle étude de la société d'analyse IoT Berg Insight, il y aura environ 700 000 véhicules compatibles V2X sur les routes d'ici la fin de 2020 et jusqu'à 35,1 millions d'ici 2025.

### 7.1 La phase de démarrage des applications de la V2X

Avant que la technologie ne soit lancée sur le marché, les grandes entreprises ont créé des parcs pilotes pour faire la démonstration de leur technologie. Les États-Unis sont un leader dans ce domaine. Dans la Silicon Valley, une base militaire abandonnée de 2 100 acres a été transformée en un vaste terrain d'essai où les constructeurs automobiles et les géants de la technologie de la Silicon Valley peuvent tester leurs idées audacieuses. Et à Détroit, autrefois ville automobile, une ville simulée appelée "mcity" a été créée, avec tous les éléments d'une route normale, ainsi que des caméras, des transmetteurs de signaux et plus encore [21]. En tant qu'étape préliminaire à l'utilisation de la technologie V2X, ces essais ont sans aucun doute posé les bases du développement ultérieur de la technologie.

### 7.2 La technologie V2X dans différents pays

- **Etats-Unis**

Les géants de la technologie de la Silicon Valley montrent un vif intérêt pour la V2X. Lux Research a estimé dans un rapport de 2015 que le marché des voitures à conduite autonome atteindrait 87 milliards de dollars d'ici 2030. Par conséquent, les géants de la technologie tels qu'Apple et Google cherchent à tirer parti de leur présence dans cet espace. À Détroit, autrefois la ville des voitures, Jim Thayer, du Mobility Transformation Center (MTC) de l'université du Michigan, estime que mcity, qu'il a fondé en 2015, est l'avenir des voitures intelligentes. La ville fictive possède les mêmes ronds-points et viaducs que n'importe quelle autre ville, ainsi qu'une variété d'infrastructures et de capteurs de signaux. C'est là que les technologies V2V et V2I sont connectées. Une installation aussi complète a attiré des investissements de groupes locaux tels que GM, Ford et Toyota [22].

Cependant, un autre constructeur automobile américain, Ford, s'inquiète des coûts d'infrastructure de plusieurs milliards de dollars liés au DSRC (Dedicated Short Range Communications). Après avoir évalué les trois dimensions de la technologie, de l'évolution continue et de la commercialisation, Ford a choisi la voie plus stable du C-V2X.

- **Chine**

L'adoption de la V2X en Chine peut se résumer par un "démarrage tardif, mais développement rapide". Suite à l'importance qu'accorde le gouvernement à la 5G, la V2X est source d'une grande attention. Les entreprises automobiles traditionnelles, les sociétés de télécommunications telles que Huawei et Hikvision et les sociétés Internet telles que Tencent et Gaode investissent grandement dans ce domaine. En 2015, un site d'essai fermé dirigé par le gouvernement a été mis en place à Shanghai. Plus d'une douzaine de voitures V2X ont été utilisées pour tester des technologies telles que la sensibilisation aux accidents et la communication entre véhicules. Un an plus tard, de plus en plus de procès ont lieu dans tout le pays. En 2019, le premier bus doté d'un signal 5G était en circulation à Chongqing. Cela signifie que la technologie V2X est désormais utilisée dans la pratique.

- **Europe**

Force est de constater que le développement de la V2X en Europe n'a pas été aussi impressionnant qu'aux États-Unis ou en Chine et qu'il est même à la traîne. Contrairement à ces dernières nations, l'Europe a adopté la voie technologique du DSRC, ce qui entraîne inévitablement une augmentation des coûts. Mais l'Europe cherche aussi à se développer. L'Institut européen de normalisation des télécommunications (ETSI) a fait appel à des fournisseurs de communications tels que Qualcomm dans le cadre d'un partenariat avec la 5GAA.

Qualcomm a déjà annoncé qu'elle fournira ses dernières puces 9150 C-V2X à BMW, Peugeot et d'autres constructeurs automobiles, tandis que Savari fournira également un support technique pour le matériel routier. Avec l'arrivée de ces entreprises technologiques et l'industrie automobile européenne de pointe, l'Europe aura un avantage dans la compétition pour l'adoption de la V2X [23].

### **7.3 L'avenir des applications de la V2X**

L'avenir des applications V2X est très prometteur. Selon le *China Electronics Information Research Institute*, le marché mondial de la télématique devrait atteindre 90 milliards d'euros d'ici 2020. En 2025, le marché dépassera les 200 milliards d'euros. Cela ne manquera pas d'attirer d'autres entreprises, ce qui aura un impact positif sur le secteur [24].

Cependant, l'adoption de la V2X se heurte encore à de nombreux problèmes. Il y a un manque de soutien politique, un choix hésitant de normes, un manque de validation extensive des données et un manque de scénarios d'application commerciale. En effet, bien que les constructeurs automobiles aient déjà effectué des tests préliminaires dans des sites d'essai, l'industrie automobile est différente et toute technologie qui n'est pas fortement validée peut être désastreuse pour la sécurité routière. Le meilleur à cet égard est Tesla, qui a utilisé des utilisateurs existants pour faire des analyses routières et valider sa technologie de pilotage automatique. La grande quantité de données sur les utilisateurs et de scénarios routiers leur a permis de se développer plus rapidement que jamais, mais les nombreux accidents de Tesla signalés dans le monde entier amènent également à se demander si les utilisateurs doivent être utilisés comme sujets de test.

## 8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, la V2X est une avancée technologique indéniable qui offre de très grandes perspectives d'amélioration pour les systèmes de transports intelligents et plus précisément les voitures autonomes. Cette technologie permet à la voiture d'interagir avec son environnement : voitures, infrastructures, réseaux et piétons, afin d'accompagner le conducteur, éviter de potentiels accidents ou encore fluidifier le trafic. Cependant, les constructeurs automobiles ne se sont pas harmonisés sur un protocole particulier de la V2X: la confrontation entre le DSRC et le C-V2X est toujours d'actualité. Le C-V2X promet une interaction avec les piétons plus forte : grâce à la 5G et l'utilisation des smartphones, outils indispensables de nos jours, les accidents impliquant les piétons dans les environnements urbains seront drastiquement réduits.

Néanmoins, les technologies V2X doivent encore être développées et perfectionnées pour leur permettre de répondre aux défis technique, sécuritaire et éthique auxquels elles font face. En effet, s'il survenait un accident entre une voiture autonome et un piéton, des questions de responsabilités seraient soulevées, car évidemment, la voiture en elle-même ne peut être responsable juridiquement d'un accident. C'est pour cela que nombre de personnes sont encore réticentes à l'idée de laisser une voiture sans conducteur circuler sur les routes et les zones à forte densité, car jugée encore trop peu sécurisée par la population. Des problèmes de piratages pourraient aussi faire surface, à l'heure où la sécurité informatique est un des grands problèmes du domaine numérique.

Le travail de documentation sur les véhicules autonomes et en particulier sur la communication avec l'environnement via la V2X que nous avons réalisé dans le cadre de ce projet a été enrichissant. Ce projet nous a permis de nous familiariser avec ce qui occupera peut-être nos routes dans un futur proche et a suscité en nous un intérêt pour le domaine de l'IA et du véhicule autonome. Nous tenons d'ailleurs à remercier M. BENSRAIR pour son accompagnement tout au long du projet et pour nous avoir invités à assister à la journée de conférences sur l'IA et les véhicules connectés.

## BIBLIOGRAPHIE

Page 1: <https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/gemalto/V2X-banner-renditionid-1.jpg>

[1] <https://veillecarto2-0.fr/2019/06/29/la-mobilite-de-demain-simplicite-rapidite-et-securite/>  
(2019)

[2] [Sécurité des informations V2X](#)

[3] [Vehicule to Everything](#)

[4] <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries#:~:text=Chaque%20ann%C3%A9e%2C%20environ%201%2C3.la%20suite%20de%20leurs%20blessures.>

[5] [MINF133.pdf \(univ-mosta.dz\)](#)

[6] [v2i communication - Bing images](#)

[7] <https://blog.rgbsi.com/what-is-v2i-technology>

[8] [V2N, the Game Changer for Mobility - AUTOCRYPT](#)

[9] P. MERDRIGNAC, Doctorat Mines ParisTech, thèse "Système coopératif de perception et communication pour la protection des usagers vulnérables", le 16 octobre 2015 ,École doctorale nO432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur.

[10] [Sensors | Free Full-Text | Vehicle-to-Pedestrian Communication for Vulnerable Road Users: Survey, Design Considerations, and Challenges | HTML \(mdpi.com\)](#)

[11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Vehicular\\_Ad-Hoc\\_Network](https://fr.wikipedia.org/wiki/Vehicular_Ad-Hoc_Network)

[12] [https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-the-dedicated-short-range-communications-DSRC-network-sniffer-and-data\\_fig1\\_335166095](https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-the-dedicated-short-range-communications-DSRC-network-sniffer-and-data_fig1_335166095)

[13] <https://autocrypt.io/dsrc-vs-c-v2x-a-detailed-comparison-of-the-2-types-of-v2x-technologies/>

[14][http://read.nxtbook.com/peerless\\_media/digital\\_engineering/september\\_2018/the\\_v2x\\_standards.html](http://read.nxtbook.com/peerless_media/digital_engineering/september_2018/the_v2x_standards.html)

[15]<https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/industries/automotive/use-cases/v2x>

[16] H. Ullah, N. Gopalakrishnan Nair, A. Moore, C. Nugent, P. Muschamp, M. Cuevas, "5G Communication: An Overview of Vehicle-to-Everything, Drones, and Healthcare Use-Cases," in IEEE Access, vol. 7, pp. 37251-37268, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2905347.

[17]<https://www.zonetronik.com/associer-la-5g-et-la-technologie-v2x-avec-protocole-dsrc-dans-les-vehicules-autonomes-de-demain/>

[18] Groupe de travail de l'Académie des sciences sur les réseaux du futur, "Rapport sur la 5G et les réseaux de communications mobiles" , 12 juillet 2021.

[19] "Cellular V2X Communications Towards 5G", Americas White Paper, mars 2018

[20][https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Rapport%20GT%20technologies%20STI-vf\\_in.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Rapport%20GT%20technologies%20STI-vf_in.pdf)

[21]<https://www.servicemobiles.fr/le-marche-chinois-devrait-mener-le-developpement-du-v2x-74463>

[22]<https://www.theguardian.com/technology/2015/aug/16/self-driving-cars-silicon-valley-michigan-detroit-gomumentum-mcity>

[23][https://media.gm.com/media/cn/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/cn/en/2015/Nov/1124\\_v2x.html](https://media.gm.com/media/cn/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/cn/en/2015/Nov/1124_v2x.html)

[24]<https://www.intertraffic.com/news/autonomous-driving/first-european-c-v2x-between-auto-makers/>