I.1. Introduction

De nos jours, de nombreuses initiatives ont été prises par les gouvernements, les communautés et les constructeurs automobiles pour améliorer la sécurité routière et résoudre les problèmes de trafic routier. Le développement des technologies de l'information et de la communication sans fil « TIC » suivi par l'apparition de la télématique embarquée dans les transports ont donné lieu à la naissance de Transports Intelligents «TI». En effet, l'émergence des technologies de communication et de localisations sans fil (3G, GPS, le Wifi…), ainsi que les travaux d'étude avancés sur ces systèmes et leurs applications dans les réseaux dynamiques ont fait apparaître le concept de ce qu'on appelle les systèmes de transport intelligents «STI » qui contiennent plusieurs type de réseaux notamment les VANETs (Véhicule Ad-hoc Network). Grâce aux VANETs, nos voitures et nos routes deviennent plus sûres, efficaces et conviviales dans différentes situations comme (les accidents, les dangers, les déviations possibles, les informations sur le trafic, les informations météorologiques, les embouteillages… etc).Ce chapitre présente un aperçu sur les VANETs, nous nous intéressons à détailler le contexte, le principe de fonctionnement, les différents type d'applications, leurs caractéristiques, leurs architectures ainsi que les normes et les standards définis pour ces réseaux,

1.2. Les réseaux véhiculaires

Un réseau VANET est une particularité d'un réseau MANET ou les nœuds mobiles sont des véhicules (intelligents) équipés de calculateurs, de cartes réseau et de capteurs. Comme tout autre réseau ad hoc, les véhicules peuvent communiquer entre eux (pour échanger les informations sur le trafic par exemple) ou avec des stations de base placées tout au long des routes (pour demander des informations ou accéder à internet…). Les réseaux véhiculaires regroupent deux grandes classes d'applications, à savoir les applications qui permettent de bâtir un système de transport intelligent ITS (Intelligent Transport System) [1] et celles liées au confort du conducteur et des éventuels passagers.

La Figure1 représente la hiérarchie des réseaux sans fil ou elle schématise l'inclusion des réseaux véhiculaires ad-hoc VANET dans les réseaux mobiles ad-hoc ou MANET.

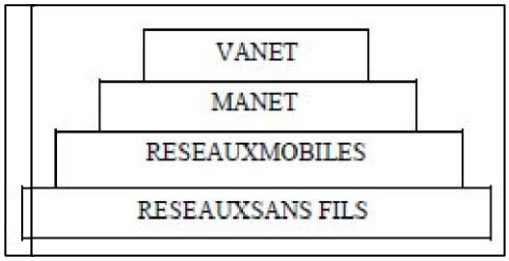


Figure 1: hiérarchie des réseaux sans fil [1]

1.3. Entités communicantes

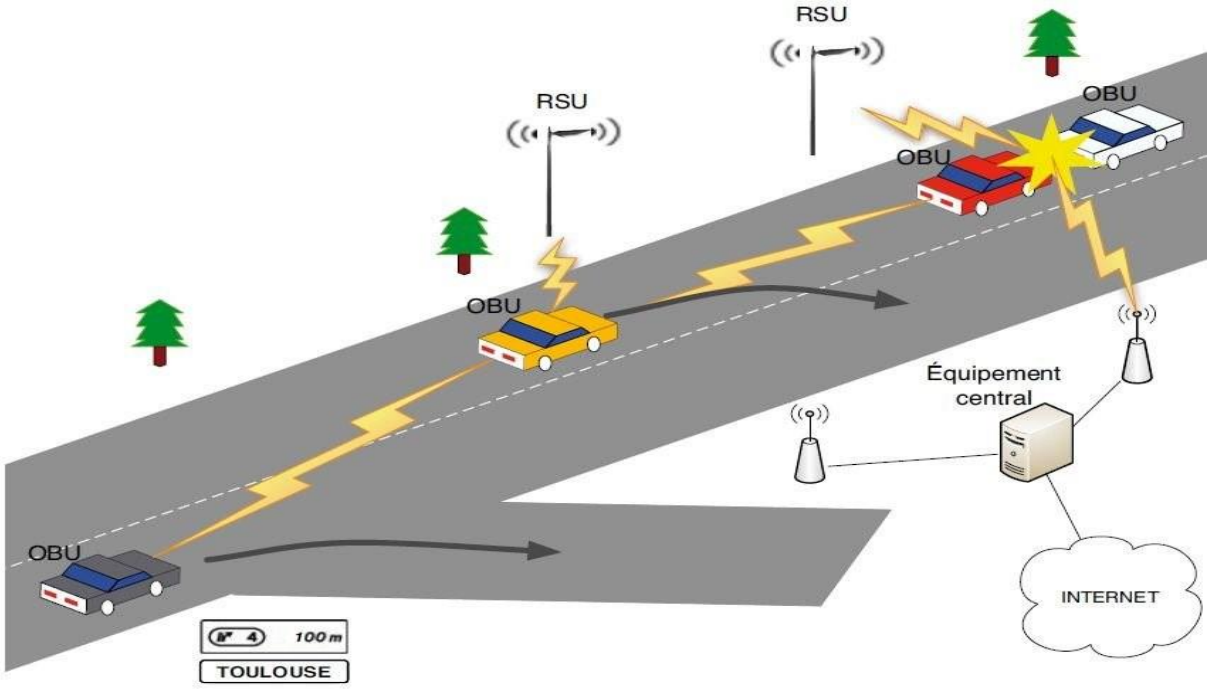


Figure 2: Exemple de réseau véhiculaire [2]

Dans un réseau sans fil véhiculaire, il existe quatre entités communicantes : l'équipement personnel, le véhicule, l'équipement de bord de route et l'équipement central. La Figure 2 illustre un exemple de réseau véhiculaire faisant intervenir les différentes entités lors d'un accident de la route.

- Les équipements personnels sont les équipements qui peuvent être apportés par l'utilisateur, Cela peut être un téléphone portable, un ordinateur portable ou encore un GPS autonome. Ces équipements peuvent interagir avec le véhicule.

- Les véhicules intelligents sont des véhicules équipés d'une unité nommée *On-Board Unit* (OBU). Cette unité peut enregistrer, calculer, localiser et envoyer des messages sur une interface réseau, comme le montre la figure suivante.

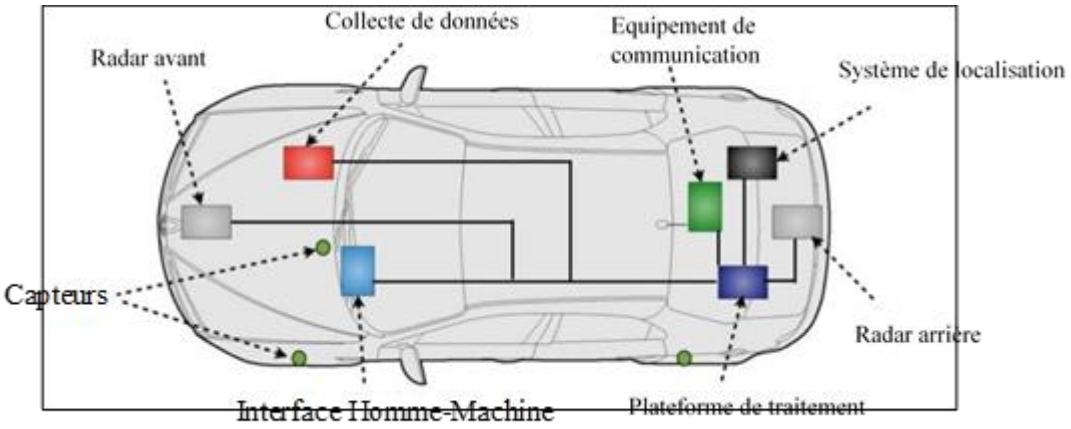


Figure 3: Exemple de véhicule intelligent **[3]**

- Les entités de bord de route sont appelées *Road-Side Unit* (RSU). Ces unités peuvent informer les véhicules à proximité en diffusant les conditions de trafic, météorologiques ou spécifiques à la route (vitesse maximale, autorisation de dépassement, …etc).

- L'équipement central se situe du côté≪ serveur ≫. Cet équipement central pourra être un serveur de stockage, un point d'entrée à un réseau filaire (Internet) ou un serveur de transaction [3].

1.4. Caractéristiques des réseaux VANET

Il est important de signaler que les réseaux VANET ont quelques spécificités qui les distinguent des réseaux MANET. Les travaux et les études de recherche réalisés dans le contexte des réseaux MANET ne peuvent pas être directement appliqués dans le domaine des réseaux de véhicules vus ses différences qui rendent l'application des protocoles et les architectures des réseaux ad hoc inadaptées. Dans ce qui suit nous présenterons quelques caractéristiques et contraintes liées à l'environnement des réseaux de véhicules qui les distinguent des réseaux ad Hoc mobiles [3, 4, 5] :

1.4.1. Capacité de traitement, d'énergie et de communication

Parmi les contraintes les plus importantes lors d'un traitement dans les réseaux ad hoc mobiles est la contrainte d'énergie, par contre dans un réseau VANET, les véhicules ne souffrent pas de cette contrainte vue qu'ils n'ont pas de limite en terme d'énergie et ils disposent

d'une grande capacité de traitement (peuvent avoir plusieurs interfaces de communication : Wifi, Bluetooth...)

1.4.2. Forte mobilité et topologie du réseau

Le nœud mobile dans un VANET qui est la voiture est caractérisé par une vitesse élevée, en un temps très court, la voiture peut rapidement rejoindre ou quitter le réseau. Par conséquent, cette forte mobilité des nœuds cause des changements rapides de la topologie du réseau.

1.4.3. Connectivité et partitionnement de réseau

La forte mobilité des véhicules et le changement rapide de la topologie de réseau donne comme conséquence la disparition de certain chemins i.e. le partitionnement du réseau peut fréquemment apparaître.

1.4.4. L'environnement de déplacement et modèle de mobilité

Dans un réseau MANET, les nœuds se déplacent aléatoirement, contrairement au réseau VANET où les véhicules suivent un modèle de mobilité spécifique, les véhicules dans les VANETs ne peuvent se déplacer que sur les routes ou les chemins définis dans la topologie, et doivent obéir aux règles de circulation, et d'autre part, par la prise en compte de l'interaction entre véhicules. Alors, ils ont moins de liberté dans leurs mouvements et ils sont limités par les signalisations routières telles que des panneaux d'arrêt, feux de circulation et interdépendants obstacles tels que les bâtiments...etc.

1.4.5. Diffusion de type d'informations

Généralement les types d'informations communiquées dans un réseau VANET s'orientent sur la diffusion des messages de prévention ou d'alerte d'une source à une ou plusieurs destinations. Néanmoins, la diffusion est faite en fonction de la position géographique et le degré d'implication de véhicule dans l'évènement déclenché. Dans de telles situations, les communications sont principalement unidirectionnelles.

1.5. Les différents types de communication dans VANETs

Les architectures dans un réseau véhiculaire peuvent être déployées suivant trois catégories.

1.5.1. Les communications Véhicule à Véhicule (V2V)

Ce mode de communication fonctionne suivant une architecture décentralisée, et représente un cas particulier des réseaux ad hoc mobiles, Il est basé sur la simple communication inter-véhicules ne nécessitant pas une infrastructure. En effet, un véhicule peut communiquer directement avec un autre véhicule s'il se situe dans sa zone radio, ou bien par le biais d'un protocole multi-sauts qui se charge de transmettre les messages de bout en bout en utilisant les nœuds voisins qui les séparent comme des relais. Dans ce mode, les supports de communication utilisés sont caractérisés par une petite latence et un grand débit de transmission. Les communications V2V sont très efficaces pour le transfert des informations concernant les services liés à la sécurité routière, mais elles ne garantissent pas une connectivité permanente entre les véhicules [6,7].

1.5.2. Les communications Véhicule à Infrastructure (V2I)

Ce mode de communication fonctionne suivant une architecture centralisée, fonctionne sous l'hypothèse que les utilisateurs doivent continuellement accéder à un serveur centralisé qui gère leurs interactions avec d'autres utilisateurs, même lorsque les véhicules sont physiquement proches.

Les véhicules communiquent indirectement par l'intermédiaire des infrastructures existantes telles que les réseaux cellulaires situés dans certaines sections critiques de la route comme les feux de circulation dans une intersection, ou le stop. Jusqu'à ce jour, les RSUs sont peu déployés en raison de leur coût élevé [8].

Les deux catégories citées ci-dessus sont illustrées dans la figure 4.

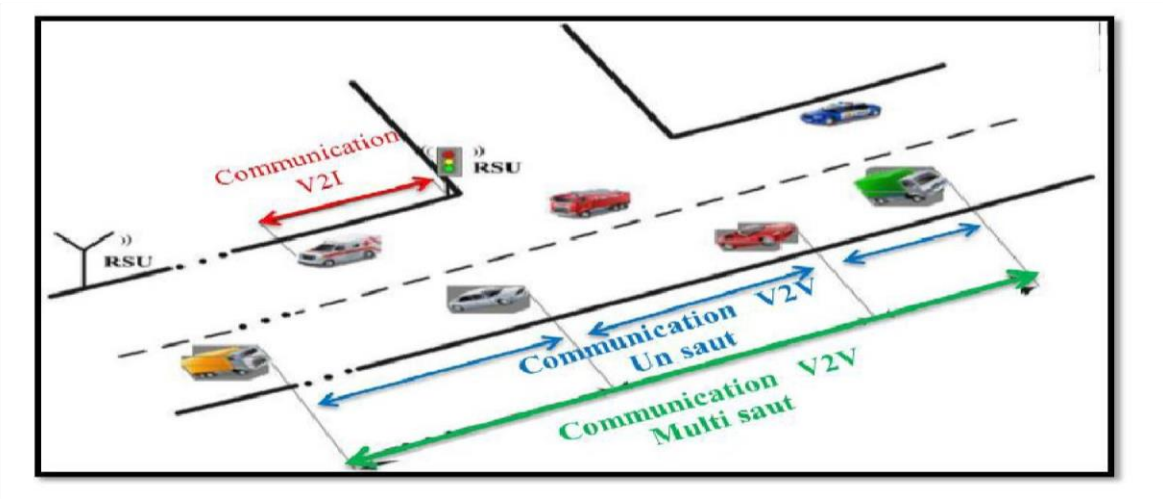


Figure 4: Les modes de communication dans les VANETs [9]

1.5.3. Les communications Hybrides (V2V-V2I-I2I)

La combinaison de ces deux types de communications permet d'obtenir une communication hybride [8] i.e. l'infrastructure peut être utilisée d'une manière optionnelle ou quand elle est présente. Dans les zones où l'infrastructure est inexistante, cette architecture opte pour des communications directes entre les véhicules, comme illustrée dans la figure suivante.

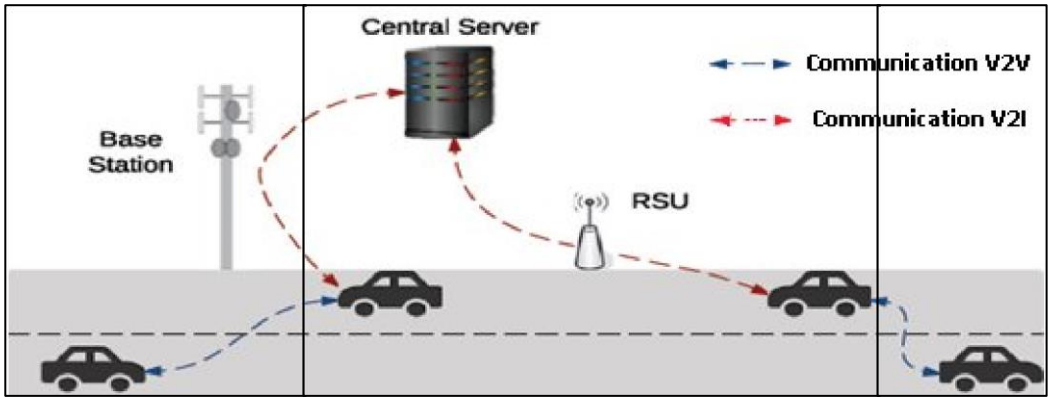


Figure 5: Communication hybride [8]

1.6. Domaines d'applications et contraintes

Les applications conçues pour les réseaux véhiculaires peuvent être principalement classifiées en trois catégories : (*i*) les applications de sécurité routière, (*ii*) les applications de gestion du trafic routier et (*iii*) les applications d'information et de divertissement.
Nous allons détailler chacun de ces types en précisant leurs objectifs et leurs contraintes [8, 10, 11,12].

1.6.1. Applications de sécurité routière

Ces applications visent à réduire le nombre d'accidents et à améliorer la sécurité routière en fournissant aux usagers routiers des informations pertinentes et utiles telles que l'avertissement de collision, la présence d'obstacles sur la route et l'avertissement d'un véhicule d'urgence qui approche.

Cette catégorie d'applications est très critique en termes de délai. Ce contexte temps réel a des impacts sur les techniques de communication proposées. Détecter le danger qui menace la vie des conducteurs, informer les usagers routiers dans les plus brefs délais afin qu'ils puissent réagir rapidement constituent des défis liés à ces applications.

Comme exemple de ce type d'applications, nous pouvons citer l'application qui consiste à faciliter le passage des véhicules d'urgence. Actuellement, les ambulances utilisent les sirènes pour avertir les véhicules rencontrés. Cette méthode peut être accompagnée d'une information diffusée par l'ambulance qui peut être propagée au travers des autres véhicules qui seront alors avertis beaucoup plus tôt, ce qui peut aider à faciliter le passage des ambulances.

Un autre exemple est l'avertissement des dangers de la route tels que les obstacles, le brouillard, des travaux…etc. En présence d'un danger sur la route, une information peut alors être partagée entre les véhicules afin de les avertir. Cela permet aux conducteurs de réagir plus tôt et réduit les risques d'accidents.

1.6.2. Applications de gestion du trafic routier

Les applications de cette catégorie utilisent les communications entre véhicules afin de partager des informations de trafic et ainsi d'améliorer le trafic routier en considérant des informations telles que des travaux, des obstacles ou des embouteillages potentiels. Cela permet la réduction du temps de trajet et une répartition efficace du trafic routier. Informer préalablement et rapidement les usagers routiers d'incidents possibles sur la route leur permet

de changer leurs trajets et de les éviter. Ces applications sont moins exigeantes en termes de délai de délivrance que les applications de sécurité.

Comme exemple d'application, nous pouvons citer l'application qui aide les conducteurs à choisir les meilleurs itinéraires. Par exemple, les travaux de construction ou des incidents survenus causent généralement des embouteillages et des encombrements de la circulation. Informer préalablement (avant que les véhicules empruntent la route où l'incident a eu lieu) les usagers routiers de ces incidents leur permet de changer de trajet et d'éviter les embouteillages.

1.6.3. Applications d'information et de divertissement

L'objectif principal de cette catégorie d'applications est de fournir aux usagers routiers des informations, des publicités et du divertissement au cours de leurs trajets. Ces applications ont pour objectif d'améliorer le confort des conducteurs et des passagers. À titre d'exemple, on peut citer des applications qui fournissent des informations sur les stations-service à proximité ou l'offre d'un restaurant au bord de l'autoroute. Les utilisateurs n'ont alors plus besoin de s'arrêter. Ils peuvent profiter de ces offres quand elles les intéressent. De plus, ces applications peuvent fournir un accès Internet, des messages instantanés, des jeux et d'autres services. Elles sont plus tolérantes aux délais que les précédentes.

Quelques exemples d'applications et leurs contraintes sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Application		Information sur l'application				
		Communication	Type de message	Fréquence d'émission (ms)	Latence (ms)	Autre prérequis
1	Feux de freinage d'urgence électronique	Ad-hoc V2V	Evénementiel, diffusion limitée dans le temps	100	100	Portée : 300m Priorité haute
2	Alerte de véhicule lent	Ad-hoc V2V	Diffusion périodique permanente	500	100	Priorité haute
3	Alerte de collision (intersection)	Ad-hoc, infrastructure V2V, V2I	Diffusion périodique permanente	100	100	Positionnement précis Priorité haute
4	Alerte de zone dangereuse	Ad-hoc, infrastructure I2V, V2V	Evénementiel, diffusion localisée limitée dans le temps	100	100	Priorité haute
5	Alerte de violation de feux tricolores	Ad-hoc, infrastructure I2V	Evénementiel, diffusion limitée dans le temps	100	100	Portée : 250m Priorité haute
6	Détection préaccident	Ad-hoc V2V	Diffusion périodique, unicast	100	50	Portée : 50m Priorité haute/moyenne
7	Alerte de changement de voie	Ad-hoc V2V	Diffusion périodique	100	100	Précision de positionnement <2m Portée : 150m

8	Alerte coopérative de collision	Ad-hoc V2V	Périodique, diffusion événementielle, unicast	100	100	Précision de positionnement <1m Portée : 150m
9	Gestion d'intersection	Ad-hoc, infrastructure V2I, V2V	Diffusion périodique, unicast	1000	500	Précision de positionnement<5m
10	Alerte d'accès limité et de déviation	Infrastructure I2V, autre réseau de diffusion	Diffusion périodique	100	500	Priorité moyenne/basse
11	Contrôle de la vitesse de croisière	Ad-hoc V2V	Diffusion unicast	500	100	Priorité moyenne
12	Télépéage	Ad-hoc, Infrastructure V2I, cellulaire	Diffusion périodique, unicast	1000	200	DSRC
13	Diagnostic distant	Ad-hoc, Infrastructure V2I, V2V, cellulaire	Unicast, diffusion, événementielle	N/A	500	Accès Internet Service disponible
14	Téléchargement de média	Infrastructure cellulaire, autre réseau de diffusion	Unicast, diffusion, à la demande	N/A	500	Accès Internet Gestion des droits numériques
15	Téléchargement des cartes routières	Ad-hoc, infrastructure cellulaire, autre réseau de diffusion, V2I, V2V	Unicast, diffusion, a la demande	1000	500	Accès Internet Gestion des droits numériques Service disponible

16	Assistance de conduite économique	Ad-hoc, infrastructure diffusion, V2I, V2V, cellulaire	Unicast, diffusion, a la demande	1000	500	Accès Internet Service disponible

Tableau 1: Exemple d'applications et leurs contraintes [13]

1.7. Travaux de standardisation et de normalisation

Les premiers standards définis pour les communications sans fil dans les VANETs utilisent la bande de fréquence de 915MHz essentiellement pour assurer des services tels que, le péage électronique et la surveillance des opérations des véhicules commerciaux. Cette bande de fréquence étant trop étroite et polluée pour supporter l'évolution envisagée pour les applications dans les réseaux véhiculaires, l'ITSA a sollicité la FCC (Federal Communications Commission) pour l'allocation d'une bande passante de 75MHz dans la gamme de fréquences 5,850-5,925 GHz pour les communications à courte portée dédiées aux VANETs aux USA. Cette demande a été accordée par la FCC en 1999 et à donner naissance à la technologie DSRC [14].

1.7.1. DSRC (Dedicated Short Range Communication)

Le DSRC est un standard de diffusion d'informations par l'intermédiaire des ondes radar, il représente que la partie «air» de la communication, c'est à dire la transmission radio établie entre des équipements fixes jalonnant l'infrastructure routière RSU (Road Side Unit) et des équipements embarqués à bord des véhicules connu sous le nom OBU (On bord Unit). DSRC s'œuvre dans une bande de fréquence des 5.9 GHz (Europe et Etats-Unis) ou 5.8GHz (Japon) et sur une largeur de bande de 75 MHz.

Elle est généralement segmentée en 7 canaux de 10 MHz chacun comme illustrée dans la figure 6, l'ensemble des canaux se répartissent fonctionnellement en 1 canal de contrôle et 6 canaux de service. Le canal de contrôle est réservé à la transmission des messages de gestion du réseau et des messages de très haute priorité à l'instar de certains messages critiques liés à la sécurité routière. Quant aux 06 autres canaux, ils sont dédiés à la transmission des données des différents services annoncés sur le canal de contrôle [4, 15].

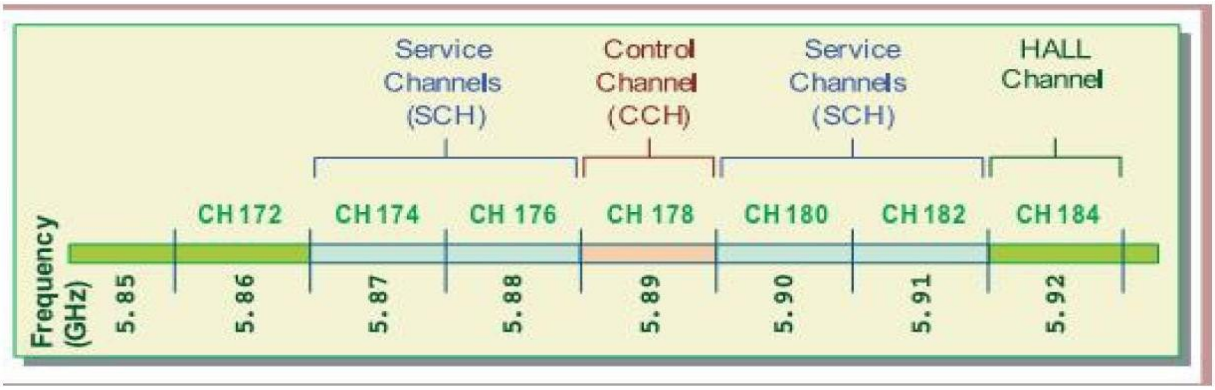


Figure 6 : Les canaux disponibles sur la bande de fréquence DSRC [16]

1.7.2. La norme IEEE 802.11p

L'IEEE a étendu sa famille de protocoles 802.11 en ajoutant le 802.11p [17], s'inspirant pour cela du standard ASTM E2213-03 [18], lui-même basé sur le 802.11a [19]. Ce protocole modifie la couche physique et la couche MAC pour s'adapter aux réseaux de véhicules, en conformité avec la bande DSRC. En complément, l'IEEE a défini la famille de protocoles 1609, dite WAVE, pour l'accès sans fil dans les réseaux de véhicules. Ce standard est structuré en quatre composantes (1609.1 à 1609.4), définit l'architecture, le modèle de communication, la structure de gestion, la sureté et l'accès physique. Comme l'illustre la figure 7, 802.11p et WAVE spécifient une pile protocolaire complète. Le modèle DSRC/WAVE utilise deux piles, une pile pour les applications de sécurité routière et un plus ≪ classique ≫ pour les deux autres catégories d'applications.

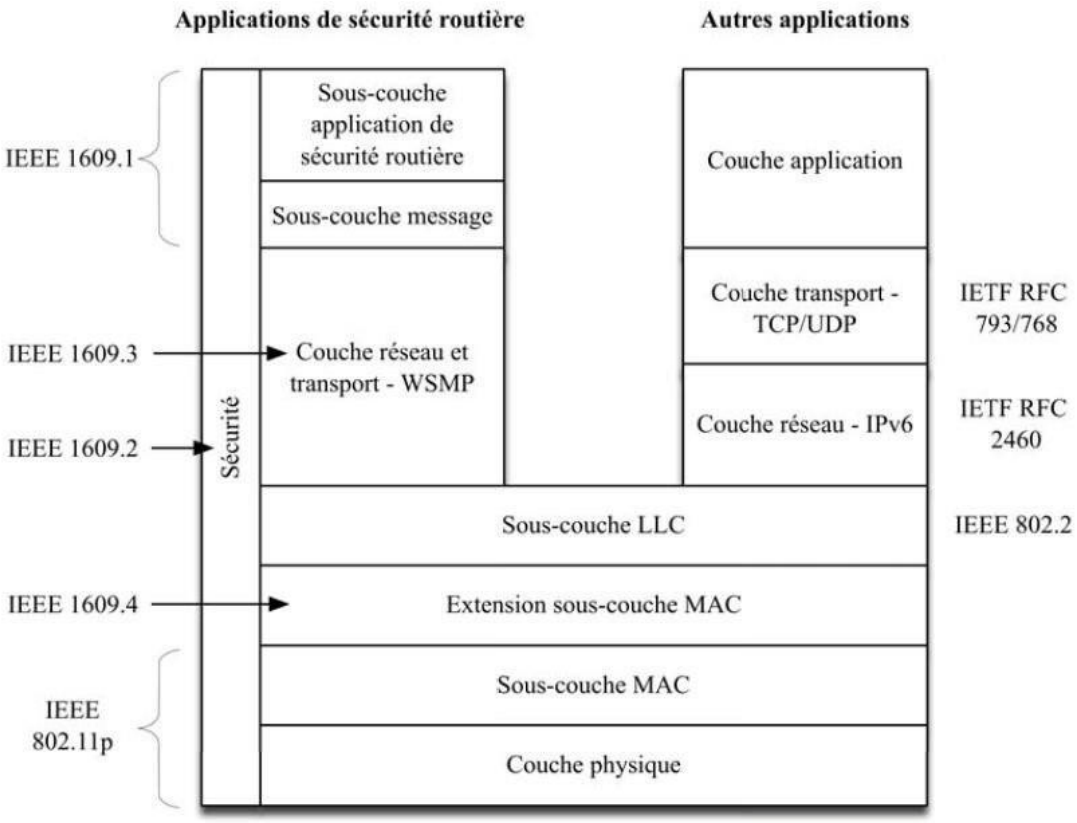


Figure 7 : Le modèle DSRC/WAVE : IEEE 1609 [20]

IEEE 1609.1 - *WAVE Resource Manager* : permet aux applications distantes une bonne gestion de ressources de OBU telle que : la mémoire et l'interface utilisateur en garantissant l'interopérabilité [21].

IEEE 1609.2 – *WAVE Security Services for Applications and Management Messages* : décrit le format des paquets et les fonctions de sécurité dans un système WAVE pour les messages de sécurité, données et gestion [22].

IEEE 1609.3 - *WAVE Networking Services* : définit les services de niveau réseau et transport incluant l'adressage, le routage et la transmission, l'envoi est basé sur le protocole WSMP *(WAVE Short Messages Protocol)* qui permet un échange efficace des messages WSM *(WAVE Short Messages)* [23].

IEEE 1609.4 - *WAVE Multi-Channel Operation*: définit les mécanismes d'accès en priorité, la coordination et la gestion des 7 canaux DSRC lors du routage et transmission de données [24].

1.7.2.1. La couche Physique IEEE 802.11p

Cette couche utilise le même mécanisme de traitement de signal et les mêmes spécifications dérivées de l'IEEE 802.11a. Cependant quelques modifications pourraient être apportées pour l'adapter aux environnements véhiculaires. Elle est capable d'offrir un débit entre 6 et 27 Mbps (pour une portée qui peut atteindre les 1000 mètres et supporter des vitesses allant jusqu'à 200Km/h) avec un codage et modulation de type OFDM (Orthogonal Frecancy division multiple Access) [25].

1.7.2.2. La couche Mac d'IEEE 802.11p

La couche Mac de protocole 802.11p est basée sur le mécanisme du CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) dans la gestion de la qualité de service. Dans le marquage de priorité est basée sur la technique EDCA (Enhanced Distributed Channel Access Quality of Service extension), cette technique est la même utilisée dans la norme IEEE 802.11g [4].

1.7.3. WAVE (Wireless Access in vehicle environment)

L'IEEE a développé une architecture connue sous le nom de WAVE (Wireless Access in VehicularEnvironments), pour fournir l'accès sans fil dans les environnements véhiculaires. Deux modes de communication sont possibles dans l'architecture WAVE, véhicule-à-véhicule et véhicule-à-infrastructure. Les véhicules communiquent via un dispositif installé à leur bord dit, OBU (On Board Unit) [14,17].

1.8. Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre était de présenter les réseaux véhiculaires comme un nouveau paradigme de réseau. Nous avons présenté leurs caractéristiques ainsi que les différentes architectures de communication possibles.

Les réseaux véhiculaires offrent une multitude d'applications allant de la sécurité de la route au confort et au divertissement des usagers routiers. Nous avons classifié ces applications des réseaux véhiculaires en fonction de leur impact sur le trafic routier et des exigences en termes de délais et de services.

Le chapitre suivant sera consacré à la description des méthodes d'apprentissages floue utilisé dans les réseaux vanets.