

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et
وزارة التعليم والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département d'Electronique et des Télécommunications



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de master académique en :
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
Filière : TELECOMMUNICATIONS
Spécialité : Réseaux et Télécommunications
Thème

**CONTRIBUTION A L'ELABORATION D'UN NOUVEAU PROTOCOLE DE ROUTAGE
POUR LES RESEAUX VANET DANS L'INTERNET DES VEHICULES (IOV)**

Présenté Par :

- 1) ZINE LKELMA MIMOUNA
- 2) SELLES MOHAMED LAMINE

Devant le jury composé de :

Dr. A. ZEBENTOUT	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. C. BEMMOUSSAT	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
M. K. BENDIMERAD	MAA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année Universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Résumé

Les réseaux véhiculaires Ad-hoc (VANETs) connaissent une transformation significative avec l'avènement de l'Internet des Objets (IoT) et la consécration de l'Internet des Véhicules (IoV) qui est synonyme aussi du développement des Systèmes de Transport Intelligents (ITS). Cela est d'un apport notable pour les contextes d'utilisation tels que la sécurité, l'efficacité des transports, la gestion du trafic routier et le confort. Dans le cadre de la prévention et la réduction des accidents sur le réseau routier national, il est impératif de passer à un trafic de véhicules plus efficace et « intelligent ». C'est dans ce cadre que s'inscrit notre démarche de contribution à la modélisation et la simulation d'un réseau VANET suivant trois environnements de mobilité (urbain, semi-urbain et autoroutier) et s'appuyant sur des conditions réalistes de mode de communication (V2V) et de technologie de transmission (IEEE 802.11p ou WAVE) par exemple. La procédure s'appuie sur la détermination d'une zone de déploiement et son exploitation finale sous simulateur SUMO, ensuite la configuration et l'exécution par des frameworks tels que Veins sous OMNet++, en lien avec SUMO.

Mots clés : IoT, ITS, VANETs, IoV, OMNet++, Veins, SUMO

Abstract: [à revoir (je vous le donne plus)]

Ad-hoc vehicle networks (VANETs) are undergoing a significant transformation with the advent of the Internet of Things (IoT) and the consecration of the Internet of Vehicles (IoV) which is also synonymous with the development of Intelligent Transport Systems (ITS). This is a significant contribution for use contexts such as safety, transport efficiency, traffic management and comfort. As part of preventing and reducing accidents on the national highway system, it is imperative to shift to more efficient and “intelligent” vehicle traffic. It is within this framework that our approach of contribution to the modeling and simulation of a VANET network according to three mobility environments (urban, semi-urban and highway) and based on realistic conditions of mode of communication (V2V) and transmission technology (IEEE 802.11p or WAVE), for example. The procedure is based on the determination of a deployment area and its final exploitation under SUMO simulator, then configuration and execution by frameworks such as Veins under OMNet++, in connection with SUMO.

Keywords: IoT, ITS, VANETs, IoV, OMNet++, Veins, SUMO

المخصص (à revoir (je vous le donne plus

تشهد شبكات المركبات المخصصة (VANETs) نحو كبرى را مع ظهور إنترنت الأشياء (IoT) وتأثيريس

إنترنت المركبات (IoV) والذي يعد أيضا مرادفا لتطوير أنظمة النقل الذكية (ITS). هذا منيذ للغاية لسباقات ال استخدام مثل السلامة وكفاءة النقل وإدارة المرور على الطرق والراحة. كجزء من الوقاية والحد من الحوادث على شبكة الطرق الوطنية، من الضروري التحول إلى حركة مرور أكثر كفاءة و "ذكاء" للسيارات. ضمن هذا الإطار ، نهج مساهمنا في نمذجة ومحاكاة شبكة VANET ونواا لثالث بيئات نزل (حضرية وشبه حضرية وطرق سريعة) وازدادا إلى الظروف الواقعية لنمط ال اتصال (V2V) وتكنولوجيا الإرسال (IEEE 802.11 أو WAVE) على سبيل المثال. يعتمد الإجراء على تحدي مننطقة النشر واستغالها النهائي باستخدام محاكي SUMO، ثم التكوين والتنفيذ بواسطة أطر عمل مثل Veins ضمن OMNet++، نيم

يتعلق بـ SUMO.

الكلمات الرئيسية: IoT, ITS, VANETs, IoV, OMNet++, Veins, SUMO

Remerciements

Grâce à ALLAH vers lequel vont toutes les louanges, ce travail s'est accompli.

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos gratitudes et nos remerciements pour toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

*Nous tenons à exprimer tout d'abord nos vifs remerciement pour notre encadreur **K.BENDIMERAD** de nous avoir encadré pour réaliser ce travail par la disponibilité de son temps précieux, ses encouragements, ses aides, ses conseils avisés, sa gentillesse....*

*Nous tenons, également à remercier vivement les membres du jury **DR BEMMOUSSAT.C** et **DR AZBANTOU** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.*

Nos remerciements vont aussi à tous nos enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

INDIQUER

1) où vous avez travaillé (laboratoire, etc?)

2) affiliation des DES ENSEIGNANTS (UNIVERSITE AIN TEMOUCHENT/DEPARTEMENT ELECTRONIQUE ET TELECOMMUNICATIONS)

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, Que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à Nos chers parents; qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous en éclairé le chemin par Nous espérons qu'un jour, nous pourrons leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que dieu leurs prête bonheur et longue vie. Nous dédions aussi ce travail à nos frères et sœurs, nos familles, nos ami(e)s, Tous ceux qui nous aiment et qu'on aime.

ZINE LKELMA MIMOUNA & SELLES MOHAMED LAMINE

Table des matières à revoir (plus)

on va ajouter un deuxième chapitre sur les applications des VANET's chapitre 3 : implémentation

Table des matières	i
Liste des abréviations.....	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux.....	vii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Caractérisation des VANETs	4
I.1 Introduction.....	5
I.2 IoT.....	5
I.3 Réseaux ad hoc	7
I.4 Réseaux MANETs	7
I.5 Réseaux VANETs	7
I.5.1 Architectures et composants.....	7
➤ TA.....	9
➤ RSUs.....	9
➤ OBU.....	9
I.5.2 Architectures de communication conventionnelles.....	10
➤ Communication Véhicule-à-Véhicule (Vehicle-to-Vehicle : V2V)	11
➤ Communication Véhicule-à-Infrastructure (Vehicle-to-Infrastructure : V2I).....	11
➤ Communication hybride (V2V & V2I).....	11
I.5.3 Caractéristiques intrinsèques	11
➤ Pas de problème d'énergie ou de stockage.....	12
➤ Très dynamiques (mobilité et topologie du réseau).....	12
➤ Environnements très variés	12
➤ Mobilité prédite et modélisée.....	12
I.5.4 Environnements de déploiement.....	12
➤ Les autoroutes	13
➤ Les villes.....	13
• Milieu urbain	13
• Milieu Semi-urbain	13
I.5.5 Technologie de transmission	13
➤ GSM/GPRS.....	14
➤ 3G/UMTS	14

➤ 4G/LTE.....	15
➤ Infrarouge	15
➤ WiMAX.....	15
➤ WLAN / Wi-Fi	16
➤ DSRC	16
➤ Continuous Air Interface, Long and Medium Range (CALM)	17
➤ Bluetooth (utilisé en IoV voir partie I.6.2)	17
➤ ZigBee (idem)	17
1. Le Débit	17
2. La Portée radio maximale	17
3. Aptitude à la mobilité	17
4. Support trafic temps réel	17
5. Latence	17
6. Modèle de communication supporté	17
I.5.6 Contextes d'utilisation.....	18
➤ Sécurité publique	18
➤ Coordination du trafic automobile.....	19
➤ Gestion du trafic routier	19
➤ Confort.....	19
I.6 VANETs et IoV	20
I.6.1 Architectures de communication étendues	20
I.6.2 Technologies de transmission étendues.....	21
➤ Bluetooth (utilisé en IoV voir partie I.6.2).....	21
➤ ZigBee (idem)	22
I.6.3 Contextes d'utilisation étendue.....	22
➤ Sécurité	23
➤ Efficacité des transports	23
➤ Info-divertissement et commodities	23
I.7 Conclusion	24
Chapitre II : Réseau VANET à l'étude - Implémentation sous OMNET++	25
II.1 Introduction	26
II.2 Cas à l'étude	26
II.3 Implémentation sous OMNeT++ (avec Veins et SUMO)	27
II.4 Simulation de trafic (flux)	28
II.5 Création du réseau VANET et simulation sous SUMO en utilisant OpenMapStreet	29
II.7 Conclusion	32
Conclusion Générale	33

ANNEXE A: Technologie DSRC/WAVE - Standards de Communication35
ANNEXE B: OMNeT++/ INET/ Veins SUMO/40
References45
 Références46

Liste des abréviations

reprendre toutes les abréviations contenues dans le mémoire (depuis l'introduction générale jusqu'à annexes A et B) et les classer par ordre alphabétique

MANET	Mobile Ad hoc Network
VANET	Vehicular Ad Hoc Networks
V2V	Vehicle-to-Vehicle.
V2I	Vehicle-to-Infrastructure.
ITS	Intelligent Transportation System
UA	Unité d'application.
OBU	On Board Unit
RSU	Road Side Units.
2G	Deuxième generation
3G :	Troisième génération.
4G	Quatrième génération
DSRC	Dedicated Short Range Communication
GPS	Global Positioning System.
GSM	Global System for Mobile.
IOT	Internet of things
IOV	Internet of Vehicules
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN .	Wireless Local Area Network

MAC	Medium Access Control
CRL	Certificate Revocation List
GPRS	General Packet Radio Service
A-STAR	Anchor-ased Street and Traffic Aware Routing
GSR	Geographic Source Routing
AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector Routing
DSR	Dynamic Source Routing
SOS	Sound on sound

Liste des figures (à revoir après modification (plus

Figure. I.1: Estimations du nombre total des dispositifs connectés (non IoT inclus)	6
Figure. I. 2: Exemple de transmission d'un message dans un réseau ad hoc	7
Figure. I.3: Exemple de véhicule intelligent	8
Figure. I.4: Diagramme d'un modèle de réseau de base VANET avec ses modes de communication	10
Figure. I.5 : modes de communications V2X dans les réseaux VANET	21
Figure II.1 Structure modulaire de Viens... ..	28
Figure II.2 modèle de simulation Viens (SUMO & OMNET++).....	29
Figure. II.3 : Vue (capture d'écran) de la zone urbaine avant délimitation	30
Figure. II.4 Aperçu (capture d'écran) du contenu du fichier urbain.osm.....	31
Figure. II.5 Aperçu (capture d'écran) de l'instruction netconvert pour le fichier urbain.osm.....	31
Figure. II.6 Aperçu (capture d'écran) du fichier .net.xml (urbain.net.xml) généré pour SUMO.....	32
Figure. ANNEXE.1 A : Le modèle DSRC/WAVE - IEEE 1609.....	36
Figure. ANNEXE.2 A : Module du standard IEEE 1609.1... ..	37
Figure. ANNEXE.3a A : Bandes allouées pour les VANETs aux États-Unis	38
Figure. ANNEXE.3b A : Bandes allouées pour les VANETs en Europe.....	38
Figure. ANNEXE.3c A : Bandes allouées pour les VANETs en Europe en incluant les ITS	39
Figure. ANNEXE 1 B : Exemple de fichier .ned.....	42
Figure. ANNEXE.B 2 : Avantages/Inconvénients de l'utilisation de l'ensemble (OMNeT++,	43
Figure. ANNEXE.B 3 : Exemple de connexion TraCI	44

Liste des tableaux

Tableau I.1: Caractéristiques des technologies destinées aux VANETs 18

Introduction générale

Depuis quelques années, les gouvernements, les constructeurs automobiles et les consortiums d'industriels, conjuguent leurs efforts pour installer les standards des Systèmes de Transport Intelligents (Intelligent Transport Systems : ITS) ; associer des véhicules et des infrastructures de transport avancés, en usant des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), afin d'adopter des critères de sécurité, d'efficacité et de confort dans la conduite, mais aussi pour optimiser le trafic routier et fournir des informations utiles, en temps réel, aux usagers de la route. Les applications ITS peuvent être mises en œuvre, à la fois dans l'infrastructure des routes et dans les véhicules eux-mêmes. Elles peuvent être déployées suivant trois déclinaisons : (i) véhicule-à-véhicule (Vehicle-to-Vehicle : V2V), (ii) infrastructure-à-véhicule (Infrastructure-to-Vehicle : I2V) et (iii) véhicule-à-infrastructure (Vehicle-to-Infrastructure : V2I). Par ailleurs, elles sont classées en quatre catégories [1] : (i) applications orientées infrastructures afin d'optimiser leur gestion (gestion des autoroutes, transport de marchandises, organisation des urgences, etc.), (ii) applications orientées véhicules afin d'améliorer la sécurité routière (alertes accidents, prévention des collisions, conduite assistée etc.), (iii) applications orientées conducteurs afin de faciliter l'usage de la route (signalisation dynamique pour les embouteillages ou les travaux, estimation temps réelle du meilleur trajet, etc.), (iv) applications orientées passagers pour offrir de nouveaux services à bord de la voiture (accès internet, jeux distribués, messagerie instantanée, informations touristiques, etc.).

Les réseaux véhiculaires mobiles (Vehicular Ad-hoc NETWORKS : VANETs), constituent une solution à travers les domaines de recherche qui leurs sont dédiés, répertoriés en 3 axes majeurs selon [2]: (i) assistance à la conduite (self-parking, aide au dépassement, radar anticollision, régulateur de vitesse, etc.), (ii) réseaux de communication entre les véhicules, (iii) voitures autonomes.

L'émergence de l'Internet des Objets (Internet of Things : IoT) a permis l'évolution des réseaux VANETs vers le paradigme de l'Internet des véhicules (Internet of Vehicles : IoV). Dans cette nouvelle configuration, les types de communications sont notés plus généralement : V2X. En plus des références « usuelles » déjà citées précédemment (V2V, I2V et V2I), le V2X peut renvoyer à : (i) véhicule-à-piéton/humain (Vehicle-to-Pedestrian/Human : V2P/H), (ii) véhicule-à-unité de bord de route (Vehicle-to-Road Side Unit : V2R), (iii) véhicule-à-objet/dispositif connecté (Vehicle-to-Object/Device : V2O/V2D), (iv) véhicule-à-capteur (Vehicle-to-Sensor : V2S), (v) Véhicule-à-tout (Vehicle-to-everything : V2X). Ainsi, l'IoV est considéré comme une partie de l'IoT où les

objets sont des véhicules qui permettent de créer une multitude de services dédiés à l'univers des ITS [3][4].

A la lumière des ces considérations et dans le contexte d'un trafic routier et ses spécificités (milieux urbain/autoroutier, état de couverture réseaux 3G/4G/5G, état des routes, signalisations et réglementations routières, ...etc.), la problématique posée est la manière d'étudier la disponibilité, la fiabilité et la pertinence des données échangées dans les communications entre les différents agents de l'IoV. Plus particulièrement, les réseaux de communications entre les véhicules (V2V) sont intéressants à considérer dans ce cas, sachant qu'ils constituent la composante principale de l'IoV : la grande quantité de données générée est transmise d'une source (véhicule) à une ou plusieurs autres destinations (véhicules) ; d'autre part les véhicules jouent à la fois le rôle d'émetteurs, de relais et des récepteurs. Parmi les obstacles à l'acheminement des données d'information entre véhicules figurent les déconnexions fréquentes, rendant ces mêmes véhicules isolés, sans possibilité d'émission ou de réception, pour des périodes de temps indéterminées. D'où la nécessité de trouver un protocole de routage qui puisse réduire ces défaillances, voire mieux : assurer des temps d'accès continus entre les véhicules et leur occupants (conducteurs, passagers), pour répondre aux besoins croissants de qualité de service (Quality of Service : QoS) dans l'environnement IoV.

Dans cette optique, s'inscrit le présent ce travail, qui cherche à apporter une contribution à l'élaboration d'un protocole de routage fiable à travers un algorithme d'acheminement des paquets de données pour un réseau VANET relevant du tandem (Internet des Objets, Internet des Véhicules : IoT, IoV) et qui peut être adapté aux trafics routiers. Le protocole a comme type de communication principal V2V, et doit assurer des communications inter-véhicules avec un QoS appréciable. L'étude est construite suivant deux grandes parties : en chapitre I, est abordée la caractérisation du triptyque (VANETs, IoT et IoV). Le chapitre II traite de la modélisation du protocole de routage en prenant compte divers concepts. Des annexes (A et B) additionnelles sont prévues pour chaque partie du mémoire.

Chapitre I : Caractérisation des VANETs (IoT, IoV)

I.1 Introduction

Ce chapitre aborde la caractérisation des VANETs sous le prisme de l'IoT – dont il convient ici de donner des définitions et le taux d'influence à travers ses parts de marché – d'une part, et de l'IoV – incluant les modes de communication étendus, les technologies de communication et les contextes d'utilisation étendus – d'autre part. Primordialement il s'agit de présenter une description des réseaux VANETs conventionnels à travers : les réseaux ad hoc et MANETs, les architectures et composants, les architectures de communication, les caractéristiques intrinsèques, les environnements de déploiement, les technologies de transmission et les contextes d'utilisation.

I.2 Internet of Things (IoT)

Au cours des dernières décennies, les communications sans fil ont révolutionné la connectivité. Celle-ci concernait d'abord des dispositifs homogènes interconnectés (ordinateurs), ensuite elle a englobé des dispositifs semi-homogènes (ordinateurs, caméras, smartphones, capteurs et autres appareillages tels que les satellites) pour aider à concevoir ensuite des réseaux et des contextes hétérogènes entre des dispositifs allant d'ordinateurs à de simples capteurs. C'est le principe de l'Internet des Objets (Internet of Things : IoT), un monde interconnecté rempli de dispositifs physiques et virtuels capables de fournir des services à travers internet. L'Objet (Thing) dans le lexique de l'IoT, désigne un objet physique ou virtuel tel que : des espaces, des chaises, des fruits, des bouteilles, des vêtements, des valises et des sacs, des animaux ou même un processus et un service comme une machine virtuelle cloud.

Durant ces dernières années, la définition de l'IoT a évolué avec l'évolution des paradigmes de pensées relatifs à la manière de lier l'internet avec les objets du monde réel. Pour n'en citer que trois paradigmes: (i) tout objet, identifié avec un identifiant unique sera considéré comme interconnecté [5] (ii) une combinaison d'Internet et de technologies émergentes telles que les communications en champ proche, la localisation en temps réel et les capteurs embarqués comme moyen de transformer les objets du quotidien en objets intelligents [6] (iii) « un réseau mondial d'objets interconnectés à adressage unique, basé sur des protocoles de communication standard ». D'une manière plus globale, il a été perçu comme un paradigme qui relie le monde réel au monde numérique [7].

Pour résumer, L'IoT en perpétuel développement, est devenu un nouveau paradigme de connexion qui fournit une connectivité à une multitude d'appareils communiquant entre eux et offrant des capacités de détection. La connexion utilise des technologies de communication telles

que : Wi-Fi, ZigBee, Long-Term Evolution (LTE) et Bluetooth, améliorant une grande variété d'applications, englobant les maisons intelligentes, les villes intelligentes et les véhicules intelligents (8) (9).

Pour des considérations chiffrées (voir **Figure I.1**) les dispositifs référencés IoT (véhicules connectés, dispositifs de maisons intelligentes et équipement industriel connecté) ont dépassé pour la première fois ceux référencés non IoT (smartphones, laptops, ordinateurs) et ambitionnent d'atteindre presque 31 milliards d'unités d'ici 2025 (contre 11,7 milliards en 2020) [10]. Le nombre de véhicules interconnectés devrait croître exponentiellement ; l'IoT pour le marché automobile est estimé à 286,8 milliards de dollars d'ici 2030, avec un taux de croissance annuel moyen de 25,5 % sur la période d'estimation (2020-2030) [11]. La croissance du marché mondial des voitures connectées est influencée par des facteurs tels que la tendance croissante des solutions de connectivité embarquées et les initiatives gouvernementales visant à développer les systèmes de transport intelligents (Intelligent Transport Systems : ITS). Par conséquent, le marché des voitures connectées devrait connaître une croissance significative à l'avenir [9].

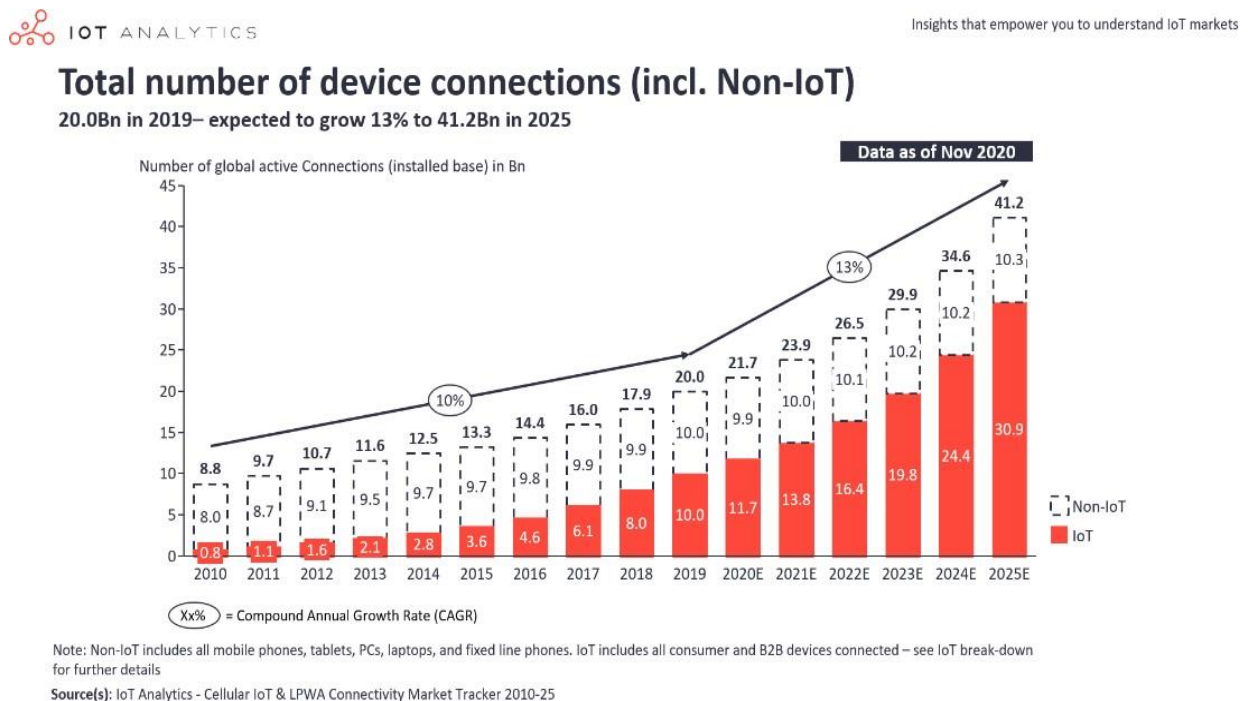


Figure I.1: Estimations du nombre total des dispositifs connectés (non IoT inclus) [10]

I.3 Réseaux ad hoc

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans-fil capables de s'organiser spontanément et de manière autonome dans l'environnement dans lequel ils sont déployés sans infrastructure définie préalablement. La tâche de la gestion du réseau est répartie sur l'ensemble d'entités communicantes par liaison sans-fil, ces entités sont souvent appelées «nœuds». [12]

La **figure I.2** montre un exemple de transmission d'un message dans un réseau ad hoc entre deux équipements distants A et C. Comme ces deux derniers ne peuvent pas communiquer directement à cause de la portée limitée de supports de transmission utilisés, alors ils utilisent l'équipement B comme relai. [12]

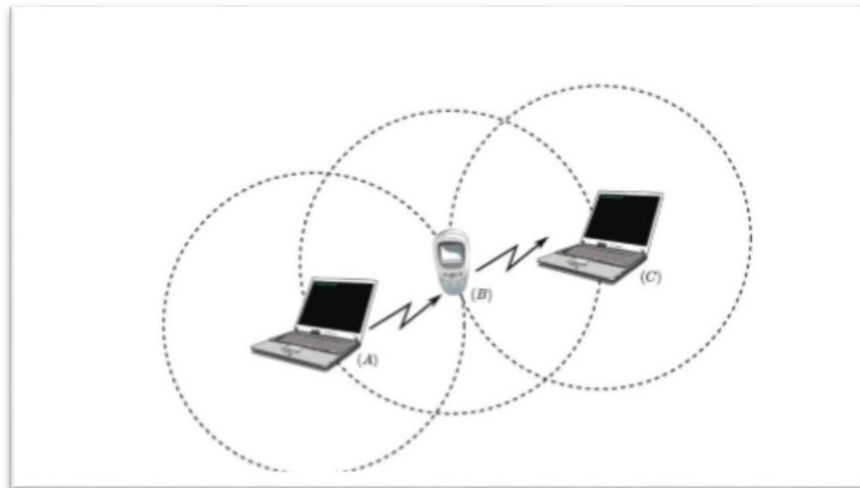


Figure I. 2: Exemple de transmission d'un message dans un réseau ad hoc [12]

I.4 Réseaux MANETs

Un réseau mobile ad hoc conventionnel (Mobile Ad hoc NETWORK : MANET) est un système autonome composé de nœuds mobiles dynamiques, interconnectés par des liens sans fil, sans l'administration d'une infrastructure centralisée. Les nœuds (ou stations) d'un MANET sont soit des routeurs soit des hôtes, et peuvent changer de position à tout moment et par conséquent, peuvent provoquer un changement brutal dans le comportement et la structure du réseau. (13)

I.5 Réseaux VANETs

I.5.1 Architectures et composants

Les VANETs (Vehicular Ad Hoc Networks) constituent une technologie sous-jacente des MANETs, dans laquelle les nœuds mobiles sont des véhicules intelligents (**Figure I.3**), équipés

de dispositifs de très haute technologie (ordinateurs, radars, instruments de géo-localisation GPS, différents types de capteurs et de périphériques réseau). Ces équipements forment un système nommé DSRC (Dedicated Short Range Communication). [14]

Les VANETs fonctionnent dans des réseaux à liaison point à point sans infrastructure, c'est-à-dire que tout nœud constituant le réseau est un point d'accès [14]. 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 rassemblent deux grandes classes d'applications : (i) celles aidant à bâtir un système de transport intelligent ITS, (ii) celles liées au confort ou avertissement du conducteur et des éventuels passagers [15][16].

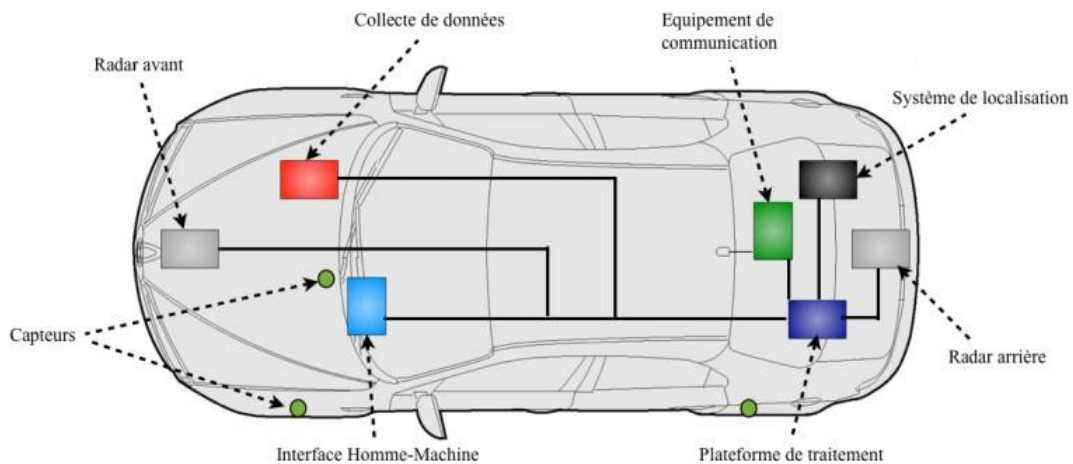


Figure I.3: Exemple de véhicule intelligent (17)

Le diagramme de modélisation d'un réseau VANET (inclus dans le modèle plus étendu de la **figure I.4** se compose de trois composants ou entités : (i) unité de bord de route (Roadside Unit : RSU), (ii) unité embarquée (On-Board Unit : OBU), et (iii) autorité de confiance (Trusted Authority : TA) [17].

Généralement, la communication entre les véhicules et les RSUs se fait via la technologie sans fil appelée accès sans fil dans l'environnement véhiculaire (Wireless Access in the Vehicular Environment : WAVE). La communication WAVE permet : (i) d'assurer la sécurité des passagers par l'actualisation des informations sur les véhicules et la circulation, (ii) d'améliorer la sécurité des piétons et des conducteurs et (iii) d'améliorer la circulation et l'efficacité du système de gestion du trafic. Il est à noter que la RSU héberge généralement une application utilisée pour communiquer

avec d'autres dispositifs du réseau, et l'OBU est montée dans chaque véhicule pour recueillir des informations utiles de celui-ci tels que la vitesse, l'accélération, le carburant, et plus encore. Ensuite, l'information est transmise aux véhicules à proximité par un réseau sans fil. Toutes les RSUs interconnectées entre elles sont également connectées au TA via un réseau câblé. Celle-ci à la tête de tous les composants, agit comme responsable de la maintenance des VANETs.

➤ **TA**

TA agit comme gestionnaire de l'ensemble du système VANET, en s'occupant de l'enregistrement des RSUs, des OBUs et des utilisateurs de véhicules. De plus, TA doit veiller à la gestion de la sécurité des VANETs en vérifiant l'authentification du véhicule, l'ID utilisateur et l'ID de l'OBU afin d'éviter des malveillances aux véhicules. TA utilise une grande quantité de puissance avec une grande taille de mémoire et peut également révéler l'ID de l'OBU et des détails en cas de message malveillant ou de comportement suspect [18]. TA possède les mécanismes pour identifier les auteurs d'attaques.

➤ **RSUs**

Les RSUs sont des dispositifs de calcul, fixés le long des routes ou bien dans des zones particulières telles que : des aires de stationnement ou des intersections [17]. Elles assurent une connectivité locale aux véhicules passant à proximité. Elles peuvent être principalement, des feux de signalisation, des lampadaires ou autres. Les RSUs sont des dispositifs de réseau pour la gamme de communication DSRC basée sur la technologie radio IEEE 802.11p. Par ailleurs, les RSUs peuvent également servir d'outils de communication avec d'autres dispositifs de réseau au sein des autres réseaux d'infrastructure [17].

➤ **OBUs**

Une OBU est un dispositif de repérage par GPS qui est habituellement embarqué dans chaque véhicule pour partager des renseignements sur le véhicule avec les RSUs et d'autres OBUs. L'OBU comprend de nombreux composants électroniques tels que le processeur de commande des ressources (Resource Command Processor : RCP), les capteurs, l'interface homme (utilisateur) – machine (Human Machine Interface : HMI) et le stockage en lecture/écriture pour récupérer les informations de stockage [19]. La fonction principale de l'OBU est de se connecter à la RSU ou à d'autres OBUs par le biais de la liaison sans fil IEEE 802.11p [19], et est responsable de communiquer avec d'autres OBUs ou RSUs sous forme de messages. L'OBU prend la puissance

d'entrée de la batterie de la voiture, et chaque véhicule se compose d'un capteur système de positionnement global (GPS), d'un enregistreur de données d'événements (EDR) et de capteurs avant et arrière, qui sont utilisés pour alimenter l'OBU [19].

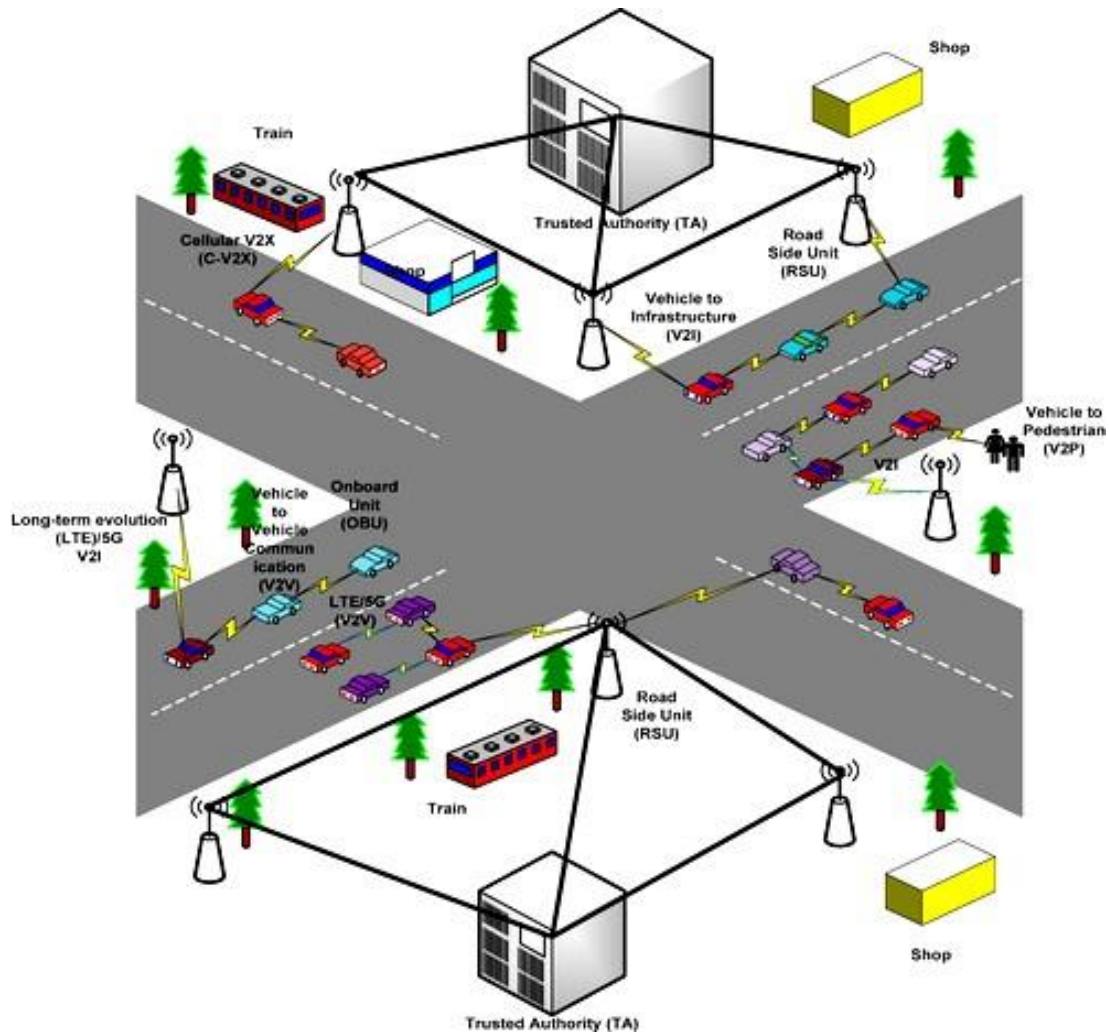


Figure I.4: Diagramme d'un modèle de réseau de base VANET avec ses modes de communication (20)

I.5.2 Architectures de communication conventionnelles

Comme relaté précédemment, ce sont principalement des entités fixes (RSUs et TA) et des entités mobiles (OBUs) qui constituent l'infrastructure dans un réseau VANET (Fig. I.4). L'échange des différentes informations et données liées à la sécurité et au confort des usagers de la route dans le réseau, implique que ces entités doivent établir une communication entre elles. En clair trois modes de communication se dégagent :

➤ **Communication Véhicule-à-Véhicule (Vehicle-to-Vehicle : V2V)**

Ce mode de communication utilise les OBU et fonctionne suivant une architecture décentralisée, représentant un cas particulier des réseaux ad hoc mobiles. Il est basé sur la simple communication inter-véhicules ne nécessitant pas une infrastructure : 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 (**Figure I.4**). Dans ce mode, les supports de communication utilisés sont caractérisés par une petite latence et un grand débit de transmission. Ce type de communication est très efficace pour le transfert des informations concernant les services liés à la sécurité routière, mais ne garantit pas une connectivité permanente entre les véhicules (**17**) (**21**).

➤ **Communication Véhicule-à-Infrastructure (Vehicle-to-Infrastructure : V2I)**

Ce mode de communication permet une meilleure utilisation des ressources partagées et démultiplie les services fournis (par exemple : accès à internet, échange de données de voiture à domicile, communications de voiture à garage de réparation pour le diagnostic distant, ...etc.) grâce à des points d'accès RSUs déployés aux bords des routes (**Figure I.4**). Les trois entités : l'OBU du véhicule, la RSU placée au bord de la route et même la TA (Trusted Authority) sont sollicitées. Ce mode est inadéquat pour les applications liées à la sécurité routière car les réseaux à infrastructure ne sont pas performants en délais d'acheminement [22].

➤ **Communication hybride (V2V & V2I)**

Ce mode est une combinaison des communications véhicule-à-véhicule avec celles véhicule-à-infrastructure. Dans ce scénario, un véhicule peut communiquer avec l'infrastructure routière en un seul saut ou en plusieurs sauts, selon la distance, c'est-à-dire qu'il peut ou non accéder directement à la RSU. Les portées des infrastructures (stations de bases) sont limitées alors que l'utilisation des véhicules comme relais permet d'étendre cette distance et d'éviter la multiplication des stations de base à chaque coin de rue ; cela conduit à une communication hybride plus intéressante et économique [22][23].

I.5.3 Caractéristiques intrinsèques

Les VANETs possèdent les caractéristiques intrinsèques suivantes [14][24][25][26]

➤ **Pas de problème d'énergie ou de stockage**

Puisque les équipements du réseau sont installés dans le véhicule, il n'y a pas de problème lié à la durée de vie du réseau. Enfin, des systèmes de stockages sont installés dans les véhicules pour conserver des cartes, ou tout autre type de données susceptibles de servir au fonctionnement du réseau.

➤ **Très dynamiques (mobilité et topologie du réseau)**

Le réseau doit pouvoir gérer des véhicules dont la vitesse varie entre 0 et 160 km/h. dans le cas de deux véhicules roulant en sens inverse et à des vitesses excessives, le temps d'interconnexion devrait être très court. D'autre part, le véhicule peut rapidement rejoindre ou quitter le réseau, d'où les changements de topologie abrupts et très fréquents.

➤ **Environnements très variés**

L'environnement est soit une route, une autoroute, ou une ville (beaucoup plus complexe). Un cas d'embouteillage peut mener à l'encombrement du réseau, alors qu'une route de campagne peut conduire à la disparition des liens du réseau (surtout de nuit).

➤ **Mobilité prédite et modélisée**

Sur une route ou une autoroute, le véhicule doit en général rester sur la route, donc la circulation est facilement prévisible. Il est ainsi possible de prédire la position du véhicule si nous connaissons sa position actuelle et sa vitesse (carte de l'environnement connue).

I.5.4 Environnements de déploiement

Pour simuler l'état du trafic dans des conditions réelles, un modèle de déplacement ou de mobilité dans les VANETs doit être en mesure d'identifier : le type, le nombre de voies et directions de chaque route, mais également la vitesse, l'accélération et la décélération des véhicules. Le modèle doit prendre en compte l'heure de la journée, les conditions météorologiques mais aussi les obstacles à la mobilité et à la communication sans fil, présents sur le réseau. Il peut s'agir par exemple de l'effet d'un gratte-ciel qui empêche la bonne diffusion du signal GPS dans les grandes villes. Enfin, le modèle est lié directement au comportement et la mentalité des conducteurs et leurs réactions face à des obstacles ou des situations différentes et complexes rencontrées au niveau des structures de routes (intersections, panneaux de signalisation, etc.) [27].

Les environnements de mobilité se divisent en deux grandes parties :

➤ **Les autoroutes (14) (27)**

Le milieu autoroutier est caractérisé par : (i) une vitesse des véhicules importante (limitée à 120 km/h en Algérie), (ii) une impossibilité (financière et de maintenance) de couvrir toutes les autoroutes avec des RSUs (dans ce cas si elles existent, elles doivent être puissantes et bidirectionnelles, (iii) une forte diversité de véhicules (poids lourds et voitures), (iv) les véhicules ne peuvent circuler que dans deux sens sur plusieurs voies (les véhicules sont considérés en tant que nœuds entrants ou sortants au niveau des intersections dans le réseau), (v) absence ou presque d'obstacles et donc l'environnement semble moins perturbant pour les ondes radio.

➤ **Les villes**

Cet environnement peut être subdivisé en deux sous-entités :

• **Milieu urbain** [14][27]

Le milieu urbain est défini comme un réseau routier formé d'intersections et de points d'arrêt (feux tricolores, stop, cédez le passage, etc.). Dans cet environnement, les ondes sont fortement perturbées à cause notamment de la forte présence de bâtiments. Le milieu urbain se caractérise par un modèle de mobilité complexe : (i) les véhicules peuvent tourner très souvent, (ii) une densité de véhicules importante, (iii) une vitesse réduite (inférieure à 60 km/h), (iv) une probabilité d'intersection plus grande et (v) les RSUs sont beaucoup plus faciles à déployer (existence d'une infrastructure importante (panneaux, etc.)) et donc de déployer les réseaux sans fil véhiculaires (V2I). Dans ce milieu, les réseaux V2V sont aussi réalisables et présentent l'avantage d'éviter le déploiement des RSUs.

• **Milieu Semi-urbain** [14][27]

Le milieu semi-urbain appelé aussi milieu périurbain, se trouve essentiellement à proximité des villes. Il s'agit d'un environnement partiellement relié à une faible densité de nœuds (perturbations) et de mobilité élevé. Par exemple, un nœud peut rejoindre ou quitter le réseau en un temps très court, et cela rend les changements de topologie très fréquents. Le milieu semi-urbain se caractérise par une forte présence d'obstacles (prenant en compte l'environnement, l'état et les risques des routes).

I.5.5 Technologie de transmission

Dans un réseau VANET, les véhicules communiquent entre eux ou avec des stations de base en bordure de route à l'aide de plusieurs technologies d'accès radio sans fil. Le réseau considéré est théoriquement capable d'utiliser un grand nombre de technologies de transmission [28]: technologies de téléphonie mobile ou cellulaire [2ème génération : Global System for Mobile

Communications (GSM)/ General Packet Radio Service (GPRS), 3ème génération : (3G/Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) et 4ème génération (4G/Long Term Evolution (LTE)], le Wi-Fi, le WiMax et la DSRC/WAVE. Le réseau peut utiliser une ou plusieurs de ces techniques.

➤ **GSM/GPRS [14][29][30]**

Le Global System for Mobile communication (GSM) est la deuxième génération de téléphonie mobile orientée vers la communication de la voix. Il prend en charge un taux de transfert de données de 9,6 Kbps. Son extension, appelée General Packet Radio Service (GPRS), introduit un service des paquets de données. Ils supportent une vitesse de transmission de données allant jusqu'à 170 Kbps et permettent l'accès à Internet. Le GSM/GPRS est un système radio à délai modéré, à faible débit, entre une station de base et un véhicule. Le trafic de données, plus particulièrement quand il transporte des informations de sécurité routière, a des besoins différents. En effet, il exige une communication en temps réel ayant un faible délai, et une fiabilité de données élevée. Cette technologie n'est donc pas adaptée au transport de paquets pour les applications de sécurité du trafic routier. Par contre, le GSM/GPRS fournit une connexion internet (minimale en terme de débit). Toutefois, cette technologie tend à être remplacée par l'UMTS qui propose notamment des débits supérieurs.

➤ **3G/UMTS [14][29][30]**

L'Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) est la norme de la troisième génération de téléphonie mobile. Elle fonctionne dans la bande de 1,8 GHz à 2,5 GHz et fournit des vitesses de transfert de données allant jusqu'à 2 Mbps. La 3G propose d'atteindre des débits supérieurs à 144 kbit/s, ouvrant ainsi la porte à des usages multimédias tels que la transmission de vidéo, la visioconférence ou l'accès à internet haut débit. La technologie High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) est un protocole de téléphonie mobile de troisième génération baptisé « 3.5G » permettant d'atteindre des débits de l'ordre de 8 à 10 Mbits/s. La technologie HSDPA utilise la bande de fréquence 5 GHz et utilise le codage W-CDMA. L'UMTS est plus adapté aux applications de sécurité du trafic routier que le GSM/GPRS. En effet, comme le débit est constamment augmenté, l'UMTS répond au besoin des applications de sécurité du trafic routier qui génèrent un volume important de données. Néanmoins, des lacunes persistent notamment en termes de garanties de délai.

➤ **4G/LTE (29) (30) (31)**

La technologie 4G/ Long Term Evolution (LTE) est la nouvelle génération des standards téléphoniques. Elle est caractérisée par un très haut débit et une latence améliorée par rapport aux réseaux 3G existants. La 4^{ème} génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et offrir des débits élevés en situation de mobilité. Elle utilise des bandes de fréquences de 1700 MHz et 2100 MHz (Actuellement 1800 MHz en Algérie [30]). Les débits maximaux définis pour le LTE sont : (i) 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz, (ii) 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz. L'objectif fixé pour la LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms et une vitesse de déplacement élevée (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences). Donc elle est considérée comme une mise à jour de la 3G (5 à 10 fois plus rapide que la 3G).

➤ **Infrarouge (14) (30)**

C'est une autre technique d'accès sans fil à visibilité directe. Elle fonctionne dans la bande de fréquences allant de 300 GHz à 400 THz. Ce large spectre est divisé en trois sous-bandes: proche infrarouge, infrarouge moyen et infrarouge lointain. L'infrarouge porte une vitesse de transmission faible (1024 kbit/s sur la liaison descendante et 64 kbit/s sur la liaison montante), avec un ensemble d'applications de communication V2V et V2I. Les travaux qui sont fait sur cette technique montrent que la communication avec le véhicule est possible jusqu'à 70 km/h.

➤ **WiMAX (14) (29) (30)**

Le WiMAX c'est un réseau sans fil métropolitain, basé sur la norme IEEE 802.16. Il offre un accès internet à une distance allant jusqu'à 50 km avec un débit de 70Mbps. Comme il utilise une bande de fréquences plus élevée (2,5 GHz) par rapport au LTE, il offre une large bande passante, qui à son tour augmente le débit. La nouvelle norme WiMAX Mobile (IEEE 802.16m), utilise des techniques de modulation avancées pour offrir un accès haut débit aux utilisateurs mobiles et couvre une large gamme de transmission avec des communications fiables et une haute qualité de service (QoS). Le principal problème dans le déploiement de technologie WiMAX est structurel : contrairement à la 3G, le WiMAX nécessite l'installation de stations de base. Cela implique des coûts financiers importants et des délais de communications V2V trop élevés.

➤ **WLAN / Wi-Fi (14) (29) (30)**

Les normes Wireless local area network (WLAN) ou Wireless fidelity (Wi-Fi) sont largement utilisées pour créer des réseaux ad hoc en raison de leur faible coût, de leurs taux de transfert de données élevés et de leur facilité de déploiement. Les normes Wi-Fi sont utilisées pour créer un ensemble de services de base indépendants dans les VANETs (activation des communications V2V ou V2I). Cependant, lorsque le nombre de véhicules augmente de manière significative, cela affecte les performances du réseau Wi-Fi. La plupart des normes Wi-Fi fonctionnent dans une bande de 2,4 GHz. Par conséquent, ils sont susceptibles d'interférer avec d'autres normes telles que le Bluetooth. Bien que certaines normes utilisent une bande de 5 GHz, elles peuvent prendre en charge les communications à courte portée. Généralement, le Wi-Fi a besoin de plus de points d'accès et fournit des communications moins sûres et peu fiables pour les VANETs que les systèmes cellulaires.

➤ **DSRC [14][29][30]**

La Dedicated Short Range Communication (DSRC) a été exclusivement conçue pour répondre aux exigences des VANETs. À l'origine, ce modèle de communication était destiné pour de courtes portées (4 à 10 mètres) avec des débits inférieurs à 1 Mbit/s. Ensuite, le standard DSRC a évolué à partir du IEEE 802.11a vers la norme IEEE 802.11p ou Wireless Access for Vehicular Environments (WAVE) afin de répondre aux besoins des réseaux VANETs: faible temps d'établissement de connexion, adaptation à la forte mobilité, portée maximale de 1000 mètres, adaptation à une vitesse théorique jusqu'à 160 km/h, débit maximal de 54 Mbit/s, etc. La DSRC peut fournir des services à la fois V2V et V2I jusqu'à 1 km et prend en charge le débit de données jusqu'à 27 Mbps. Il est largement utilisé principalement pour les applications de sécurité routière en raison de sa fiabilité, de sa transmission sécurisée des données et de sa faible latence. La technologie DSRC/WAVE reste la plus utilisée dans les VANETs. Elle est déjà utilisée pour certaines applications liées à l'automobile, tel que le paiement électronique des péages sans s'arrêter. Les communications dédiées à courtes portées DSRC ont été créées spécialement pour les réseaux véhiculaires mobiles. Elles regroupent les standards WAVE ainsi que la norme 802.11p, qui est la norme Wi-Fi pour les réseaux véhiculaires mobiles. WAVE regroupe les standards IEEE 1609.x (1, 2, 3 et 4), qui sont les standards des couches 2, 3, 4 et 7 du modèle Open System Interconnection (OSI) (**voir ANNEXE A**). IEEE 802.11p, gère la couche Physique (couche 1) de ce même modèle. Ils sont développés spécialement pour les réseaux véhiculaires mobiles, en fonction des spécifications suivantes : (i) véhicules rapides, jusqu'à 160 km/h ; (ii) portées de transmission allant

de 300 à 1000 mètres ; (iii) temps de latence faible [< 50 ms] et (iv) débit théorique allant jusqu'à 6 Mbps.

Les technologies suivantes peuvent également être citées :

➤ **Continuous Air Interface, Long and Medium Range (CALM) [30]**

Le standard CALM a la particularité d'intégrer des technologies déjà citées auparavant (GSM-2G/GPRS-2.5G, UMTS-3G et l'infrarouge) et qui reste en cours de développement (voir détails en ANNEXE A)

➤ **Bluetooth (utilisé en IoV voir partie I.6.2) [30]**

➤ **ZigBee (idem) (30)**

En résumé le **Tableau I.1** répertorie les différentes technologies destinées aux applications VANETs en intégrant les critères suivants :

- **Le Débit** : (débit descendant : DL / débit montant : UL).
- **La Portée radio maximale** : rayon de communication maximal pour une communication.
- **Aptitude à la mobilité** : c'est la vitesse maximale autorisée pour un nœud par rapport à un point fixe. Nous indiquons si la technologie est apte à la mobilité ou non à partir de cette vitesse.
- **Support trafic temps réel** : indique si la technologie peut supporter un trafic de données temps réel. La mention « selon la distance à la BS » signifie la distance entre l'utilisateur et la station de base à laquelle il est connecté.
- **Latence** : indique le délai moyen entre l'émission et la réception d'un message.
- **Modèle de communication supporté** : V2V ou V2I

Des bandes dédiées sont allouées par les organismes de certification aux États-Unis et en Europe, non compatibles les unes avec les autres. Aux États-Unis, 75 MHz ont été alloués autour des fréquences de 9 GHz, et en Europe, 25 MHz ont été alloués autour de cette même bande (Voir ANNEXE A). Au Japon, 80 MHz ont été alloués autour de la bande 5,8 GHz.

	GSM/ GPRS	UMTS	4G/LTE	Infrarouge	WIMAX	WIFI	DSRC
Débit (kb/s)	DL : 60 à 80 UL : 20 à 40	DL : 384 UL : 384	DL : 100 UL : 50 (Mb/s)	DL/UL : 6000	DL/UL : 4500-22000	DL/UL : 54000	DL/UL : 3000 à 27000
Portée maximale	35 km	20 km (selon la cellule)	Large porté	1-100 m	50 km	400 m	1 km
Aptitude à la mobilité	Elevée 300 km/h	Elevée 500 km/h	Elevée 350 à 500 km/h	Moyenne 70 km/	Moyenne 70 km/	Elevée 250 km/h	Elevée 300 km/h
Support trafic temps réel	Non	Oui (selon la distance à BS)	Oui	Oui (8 niveaux de priorité)	Oui (selon la distance à BS)	Oui	Oui
Latence (ms)	500- 700	200 à 300	< 100	10	50	Selon Implémen- -tation	Faible < 5
Mode de transmission	V2I	V2I	V2I	V2V, V2I	V2I	V2V, V2I	V2V, V2I

Tableau I.1: Caractéristiques des technologies destinées aux VANETs (14) (29) (30)

I.5.6 Contextes d'utilisation

Dans les VANETs, quatre grands types d'utilisations ou applications sont répertoriés (25) (27) : sécurité publique, coordination du trafic automobile, gestion du trafic routier et confort.

➤ Sécurité publique

Les applications de sécurité publique ont pour rôle d'améliorer la sécurité routière : éviter les accidents et les victimes sur les routes. Elles doivent allier rapidité et fiabilité. Une zone de pertinence (Zone of Relevance : ZOR) définit la zone de couverture de suivi de informations pour l'ensemble des véhicules. Ces applications peuvent être subdivisées en deux types: (i) application

d'évitement de collisions coopératives (collisions en chaînes, collisions en cas de dépassement sur les autoroutes, collisions frontales sur les autres routes) avec des temps de latence inférieurs à 100 ms, et **(ii)** messages d'avertissement d'urgence (instantanés : disparaissent après diffusion, ou à long terme : restent présents tant que le danger persiste) avec des temps de latence moins critiques. Ces applications doivent pour la plupart être en mesure d'accéder aux commandes et autres capteurs du véhicule afin de les utiliser à des fins de survie (exemple de freinage d'urgence : le temps de réaction du système est plus court que le temps de réaction du chauffeur, et la voiture devrait être en mesure de freiner automatiquement).

➤ **Coordination du trafic automobile**

Les applications de coordination du trafic automobile sont les applications d'assistance à la conduite : analyse de l'environnement entourant le véhicule afin d'apporter des informations supplémentaires au conducteur (exemple : le conducteur enclenche un flasheur sur autoroute, le système doit être en mesure d'alerter le conducteur en cas de présence d'un autre véhicule sur la voie adjacente).

➤ **Gestion du trafic routier**

Les applications de gestion du trafic routier ont deux objectifs: **(i)** apporter au conducteur des informations concernant le trafic routier autour de lui ou dans un endroit précis (même principe que pour un GPS pour emprunter par exemple le trajet le plus court) et **(ii)** apporter une assistance au niveau des intersections (essentiellement en milieu urbain, où sont enregistrés le plus d'accidents que ce soit avec d'autres véhicules ou bien avec des piétons).

➤ **Confort**

Les applications de confort sont développées principalement pour l'info-divertissement incluant les informations, la publicité ou le divertissement (infotainment) des passagers. Les applications de divertissement permettent et/ou nécessitent un accès internet. Leur contenu (sous forme de téléchargement de contenu payant, tels des jeux, de la musique ou des vidéos) et la possibilité de le partager ensuite sur le réseau (messagerie inter-véhicule, etc.) est disponible à travers des accès effectués à des points stratégiques (stations d'essence, passage devant des RSUs connectées, etc.). Les applications publicitaires concernent les commerciaux présents sur les bords des routes dans un certain rayon autour des véhicules (hôtels, restaurants, stations essences, etc.) auxquels les utilisateurs pourraient sélectionner et consulter suivant leurs besoins. Enfin, les applications informatives (exemple d'applications de gestion du stationnement en ville ou dans un stationnement

sous-terrain), afin d'informer le conducteur des places disponibles près de sa position via les données fournies par une RSU.

I.6 VANETs et Internet of Vehicules (IoV)

L'émergence de l'IoT a permis l'évolution des réseaux VANETs conventionnels vers le paradigme de l'Internet des Véhicules (Internet of Vehicules : IoV). En effet, l'IoT renforce déjà la connexion sans fil à travers des activités quotidiennes de la vie de tous les jours. Apportée au véhicule, cette technologie invente l'IoV. Celle-ci devient donc une superposition de VANETs et IoT, et la combinaison de ceux-ci permet d'augmenter et d'élargir la capacité des VANETs : les véhicules connectés encouragent l'amélioration de l'industrie du développement automobile en visant à augmenter et à améliorer la sécurité, la facilité de voyage et l'info-divertissement pour les conducteurs et les passagers du véhicule. Bien que l'objectif commun des VANETs et de l'IoV demeure similaire, à savoir renforcer l'expérience de conduite globale et minimiser les accidents de la route, de nombreux paramètres et variables peuvent faire la distinction entre IoV et VANET

Le principal objectif des réseaux VANETs à leur création était d'améliorer la sécurité routière afin d'éviter les accidents et d'améliorer l'efficacité des trafics afin de minimiser le temps, les coûts et les émissions polluantes. Le manque de dispositifs de divertissement a conduit à une décroissance de la demande sur le marché [32]. Alors que dans l'IoV, l'objectif principal est d'améliorer la sécurité et l'efficacité de la circulation, avec un supplément d'info-divertissement commercial et la possibilité d'accès à différents types de moyens de communication réseau [33]. Il est possible alors pour les passagers d'accéder aux services en ligne incluant la musique en ligne, la vidéo en continu et la surveillance d'accès à distance. L'expérience des passagers à bord est améliorée et la demande sur le marché augmente.

I.6.1 Architectures de communication étendues

Les avantages de passer de réseaux VANETs conventionnels à une combinaison (VANETs, IoV) sont indéniables : alors que les VANETs ne sont composés que de véhicules connectés de manière ad hoc échangeant des données entre eux et ne sont pas en mesure de fournir des applications et services durables aux utilisateurs à l'échelle mondiale, l'IoV peut couvrir un réseau mobile dynamique plus grand tel une ville ou même un pays, impliquant des entités telles que des humains, des objets et d'autres réseaux hétérogènes. De plus, l'IoV améliore les VANETs conventionnels en incorporant des réseaux cellulaires tels que LTE, 5G, etc., pour fournir une communication étendue et fiable : l'IoV traite un véhicule comme une entité intelligente équipée de divers capteurs et de capacités de calcul, utilise des réseaux ad hoc pour la communication avec

l'infrastructure et un réseau cellulaire pour la communication avec le réseau de base [34][35]. L'IoV permet également la collecte et le partage de données sur l'environnement, les véhicules, l'état des routes [36].

Cette extension des possibilités implique une extension des modes de communication libellés V2X (Véhicule-à-tout ou bien Vehicle-to-Everything), qui constituent l'épine dorsale des ITS [37][38] dans le sens où ils contribuent à améliorer l'efficacité de la circulation, la sécurité routière et améliorer les expériences de conduite en fournissant des informations en temps réel et très fiables telles que l'avertissement de collision, l'information sur les goulots d'étranglement, l'avertissement de congestion de la circulation, situations d'urgence et autres services de transport. La communication V2X peut échanger les informations entre V2V, V2I et le véhicule aux piétons (V2P), comme le montre la figure

Une liste de modes de communications étendus (**Figure I.5**) inclut – en plus des modes abordés précédemment V2V et V2I, les modes: (i) véhicule-à-piéton/humain (Vehicle-to-Pedestrian/Human : V2P/H), (ii) véhicule-à-unité de bord de route (Vehicle-to-Road Side Unit : V2R), (iii) véhicule-à-objet/dispositif connecté (Vehicle-to-Object/Device : V2O/V2D), (iv) véhicule-à-capteur (Vehicle-to-Sensor : V2S), (v) Véhicule-à-tout (Vehicle-to-everything : V2X)

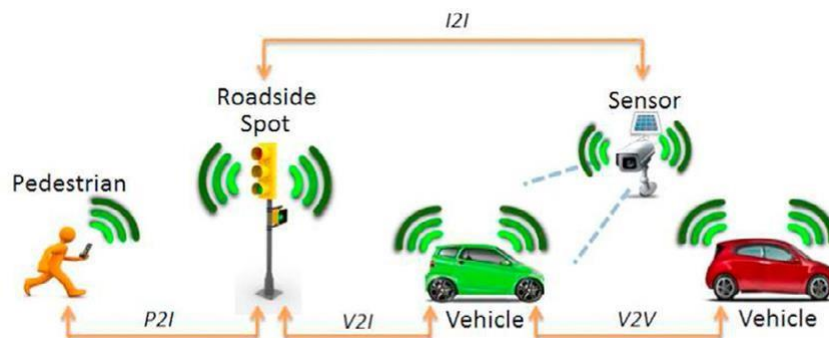


Figure I.5 : modes de communications V2X dans les réseaux VANET (39)

I.6.2 Technologies de transmission étendues

Par rapport à ce qui a été décrit en partie I.5.5, l'IoV introduit deux nouvelles technologies à savoir :

➤ **Bluetooth (utilisé en IoV voir partie I.6.2) [30][39][40][41]**

Le protocole Bluetooth (IEEE 802.15.1) basé sur les bandes radio ISM (Industrielles, Scientifiques et Médicales) est utilisé pour transférer des données à une vitesse allant de 1Mbps à jusqu'à 4Mbps sur une distance de 10m. Bluetooth fonctionne dans la bande 2,4 GHz et utilise la

technique du spectre de propagation par sauts de fréquence pour surmonter l'interférence du signal. Bien que Bluetooth version 3 peut fonctionner sur la bande de fréquence 6 GHz à 9 GHz, il utilise la bande 2,4 GHz pour communiquer avec d'autres appareils. Bluetooth 4.0 utilise peu d'énergie pour la transmission, mais il n'est pas compatible avec les versions antérieures. Il est principalement utilisé pour créer un réseau personnel (Personal Area Network : PAN). La technologie Bluetooth peut être utilisée pour prendre en charge les applications V2V et V2I. Comparé aux autres normes Wi-Fi, il nécessite une faible puissance. Cependant, il ne peut pas être utilisé pour construire des applications de sécurité en raison de la vitesse de transfert lente, de la zone de couverture courte et de la vulnérabilité aux interférences d'air. Néanmoins, le Bluetooth est communément utilisé dans la plupart des voitures de nos jours pour se connecter aux appareils personnels ou aux commandes de dispositifs dans la bande de fréquence 2,4 GHz à 3 Mbps (débit de données).

➤ **ZigBee (idem) [30][39][40][41]**

ZigBee (IEEE 802.15.4) utilise la bande sans licence de 2,4 GHz pour transférer des données à la vitesse de 250 Kbps jusqu'à 70 mètres. Elle utilise également des bandes de fréquences inférieures de 915 MHz (US) et de 868 MHz (Europe) pour prendre en charge des taux de transmission de données de 40 Kbps et de 20Kbps respectivement. Cette technologie utilise des signaux radio de faible puissance pour transférer des données jusqu'à 100 m en utilisant la modulation OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying). Comme il utilise une faible puissance et une faible latence, il est largement utilisé dans les réseaux PANs, les télécommandes, la surveillance des transports et les réseaux de capteurs. Il est simple et moins cher que les normes Wi-Fi et Bluetooth. En outre, il peut supporter plus de nœuds mobiles simultanément et a une capacité d'auto-maintenance. Comme Bluetooth, il peut être utilisé pour prendre en charge les applications V2V et V2I. Par ailleurs, ZigBee permet au véhicule de se connecter avec les capteurs internes (V2S) à une vitesse de 250 Kbps.

En addition, La technologie 4G/LTE déjà abordée pour les VANETs conventionnels, est particulièrement adaptée pour l'IoV, principalement utilisée pour les communications véhiculaires entre machines et la fonctionnalité d'info-divertissement avec une vitesse de transfert allant jusqu'à 100 Mbps pour un nœud en mouvement et 1 Gbps pour un nœud stationnaire [45].

I.6.3 Contextes d'utilisation étendue

L'IoV constitue un paradigme très prometteur avec l'évolution de la technologie, en particulier les réseaux sans fil et l'IoT. L'IoV embellit les VANETS conventionnels en une organisation plus significative en termes d'encapsulation d'entités telles que les piétons, les routes, les parcs de

stationnement ou les infrastructures municipales, en les reliant efficacement pour assurer une communication en temps réel entre ces entités [26]. L'IoV offre une liste exhaustive et détaillée d'applications [26] qui peuvent être regroupées en trois grandes catégories:

➤ **Sécurité [46][47][48][50][51]**

La sécurité dans les véhicules connectés implique que les nœuds véhicules peuvent envoyer automatiquement des informations en temps réel sur les accidents, y compris des informations de localisation aux équipes d'urgence qui peuvent accélérer le processus d'intervention et ainsi aider à sauver des vies. Les systèmes coopératifs d'avertissement de collision peuvent détecter une collision probable et afficher un avertissement au conducteur pour prévenir la collision (les systèmes coopératifs d'avertissement de collision avant détectent la distance entre les voitures et alertent le conducteur pour prévenir les collisions arrière). Dans les intersections, un conducteur est confronté à un risque élevé de collision en raison de la convergence de multiples flux de circulation. Une intersection intelligente figure parmi les applications de sécurité les plus recherchées dans l'IoV. Le Consortium pour la sécurité des véhicules (CSV) a identifié certaines applications liées à la sécurité, notamment l'avertissement de vitesse en courbe, la détection avant impact, l'avertissement de collision avant coopératif, l'avertissement de feux de freinage d'urgence, l'assistant de virage à gauche, la violation des signaux de circulation, l'avertissement de changement de voie et l'assistant de mouvement d'arrêt.

➤ **Efficacité des transports [46]**

Des applications telles que le guidage et l'optimisation des itinéraires, l'efficacité du feu vert, peuvent être mises en œuvre via IoV. Certaines de ces applications nécessitent une infrastructure de bord de route, alors que d'autres nécessitent des communications entre véhicules seulement. Ces applications de l'IoV vont permettre non seulement d'améliorer la gestion du trafic, mais aussi de réduire considérablement le temps de trajet, la consommation de carburant et les niveaux de pollution en raison de la réduction des embouteillages. L'IoV sera un élément clé de la mise en œuvre du concept de ville intelligente.

➤ **Info-divertissement et commodités [51]**

Inclure la diffusion en continu du contenu vers les systèmes de divertissement de la voiture, les notifications de points d'intérêt comme les pompes à essence, les restaurants, les toilettes, etc. Les applications de commodité et de divertissement vont des déductions de péage électroniques aux postes de péage, transmission des diagnostics des véhicules au fabricant pour un horaire de service automatisé, à la navigation sur le Web, à la diffusion en continu vers les services routiers tels que

l'emplacement et la diffusion des prix des stations-service, au stationnement, aux restaurants et à bien d'autres choses.

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons retracé les caractéristiques principales et spécifiques des réseaux VANET conventionnels, basés sur les concepts de réseaux Ad hoc et MANET. Leur combinaison dans le triptyque (VANETs, IoT, IoV) implique de s'intéresser à d'autres considérations qui étendent et améliorent les performances, notamment dans les modes de communication, les technologies de transmission et les contextes d'utilisation.

Chapitre II : Elaboration du protocole de routage - Algorithme

II.1 Introduction

Dans la continuité du précédent chapitre, Il s'agit d'élaborer un protocole de routage fiable, adapté aux communications inter-véhicules dans un réseau VANET relevant du tandem (IoT, IoV) et qui assure un QoS appréciable, à travers un algorithme d'acheminement des paquets de données. Le type de communication considéré est V2V. Il convient pour cela d'aborder divers concepts et théories qui sont autant d'outils pour la construction de l'algorithme souhaité.

II.2 Réseau VANET (IoT, IoV) à l'étude

Le réseau VANET (IoT, IoV) à l'étude, ayant les spécificités du trafic routier, est caractérisé par :

- **Environnements (topologies) de mobilité : urbain (ville), campagne et autoroute**
- **Mode de communication fixé: V2V**

C'est la composante principale de l'IoV, car la grande quantité de données et les services offerts potentiels doivent être transmis d'une source à une ou plusieurs autres destinations, avec des latences réduites. Dans ce cas, il est plus judicieux de s'appuyer sur les véhicules, qui vont gérer leurs propres communications et servir de relais d'information entre d'autres véhicules (émetteurs, relais et récepteurs).

- **Norme de transmission : à déterminer**

Des inconvénients se présentent dans la transmission de données inter-véhicules : des risques de déconnexions fréquentes (dans les trois topologies citées plus haut) rendent les véhicules isolés, sans possibilité d'émission ou de réception, pour des périodes de temps indéterminées. Il serait intéressant d'identifier la technologie de transmission qui offre le plus d'avantages dans ce cas.

II.3 Architecture de l'IoV :

Vu sous l'angle réseau, un système IoV comporte trois couches [52] [53] [54]: application, réseaux et perception.

- **La couche application** inclut les applications de sécurité, de gestion de trafic et de confort ainsi que l'interface interactive homme-machine.
- **La couche réseaux** englobe les différentes technologies de communication.
- **La couche perception** a trait à tous les types de capteurs et moyens de collecte de donnée.

Notre problématique exposée plus haut nous pousse à nous intéresser à la couche réseaux (système de communication). Deux axes de recherche inhérents à exploiter :

- **Qualité de service (QoS)** représentée par des métriques : la fiabilité, la disponibilité et la

robustesse.

- **Routage** : mécanisme d'acheminement ininterrompu des données d'information entre véhicules.

Remarque : Dans notre étude l'intégration complète du système IoV regroupant homme/véhicule/objet/environnement (comme indiqué en Chapitre I) via les applications IoV, n'est pas considérée pour des raisons de simplification.

II.4 Types d'obstacles à la communication

Des entraves peuvent survenir et occasionner des déconnexions dans l'IoV [55].

- Par rapport à la nature de l'**architecture** qui est **distribuée**
- Par rapport aux **agents** et **entités** de l'IoV qui sont par essence **hétérogènes** et **manquent de coopération** entre eux.
- Par rapport aux **véhicules** : il peut s'agir de la forte mobilité ou des vitesses élevées de déplacement, ou bien encore de la densité variable suivant les zones (urbaines, autoroutes ou en rase campagne), avec un changement rapide de la topologie du réseau et une absence des bornes RSU;
- Par rapport aux **réseaux de communication** : cela concerne l'utilisation de réseaux cellulaires à couverture restreinte pour les communications, les attaques de type trou noir (Black Hole) ou par dénis de service distribué, la surcharge du réseau due à la quantité d'agents communicants dans l'IoV et la bande passante limitée
- Par rapport aux **services** offerts par l'IoV : complexité et accès à distance.

II.5 Taxonomie des protocoles existants dans les réseaux véhiculaires

Il existe pour l'acheminement des données, différents modes, stratégies et protocoles de routage. La **figure II.1** montre une taxonomie des protocoles de routage existants dans les réseaux véhiculaires. Ils sont classés suivant différents modes de fonctionnement. Les algorithmes de routage dédiés aux réseaux mobiles sont souvent des protocoles multicritères et peuvent appartenir à plusieurs catégories parmi celles citées dans la **figure II.1** [55].

Le protocole de routage AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector) [56] prend en charge à la demande, le routage unicast et multicast, en utilisant un numéro de séquence pour chacune des routes. Sa variante améliorée, SD-AOMDV (Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector Routing) [57], emploie de nouveaux paramètres (vitesse et direction) au champ qui détermine le

prochain saut lors du processus de découverte et de construction de routes. Le principal défaut du protocole AODV et sa variante est lié au processus de découverte de route avant le début de transmission, qui n'est pas forcément la route optimale. Il calcule plusieurs itinéraires complets de la source jusqu'à la destination occasionnant une augmentation de délai de bout en bout du protocole. Il devient réactif à la survenue d'un problème de communication ou à la rupture d'un lien pour la construction d'une autre route. Pour toutes les raisons évoquées, ce type de protocole orienté source semble inadéquat aux réseaux fortement dynamiques comme les VANETs.

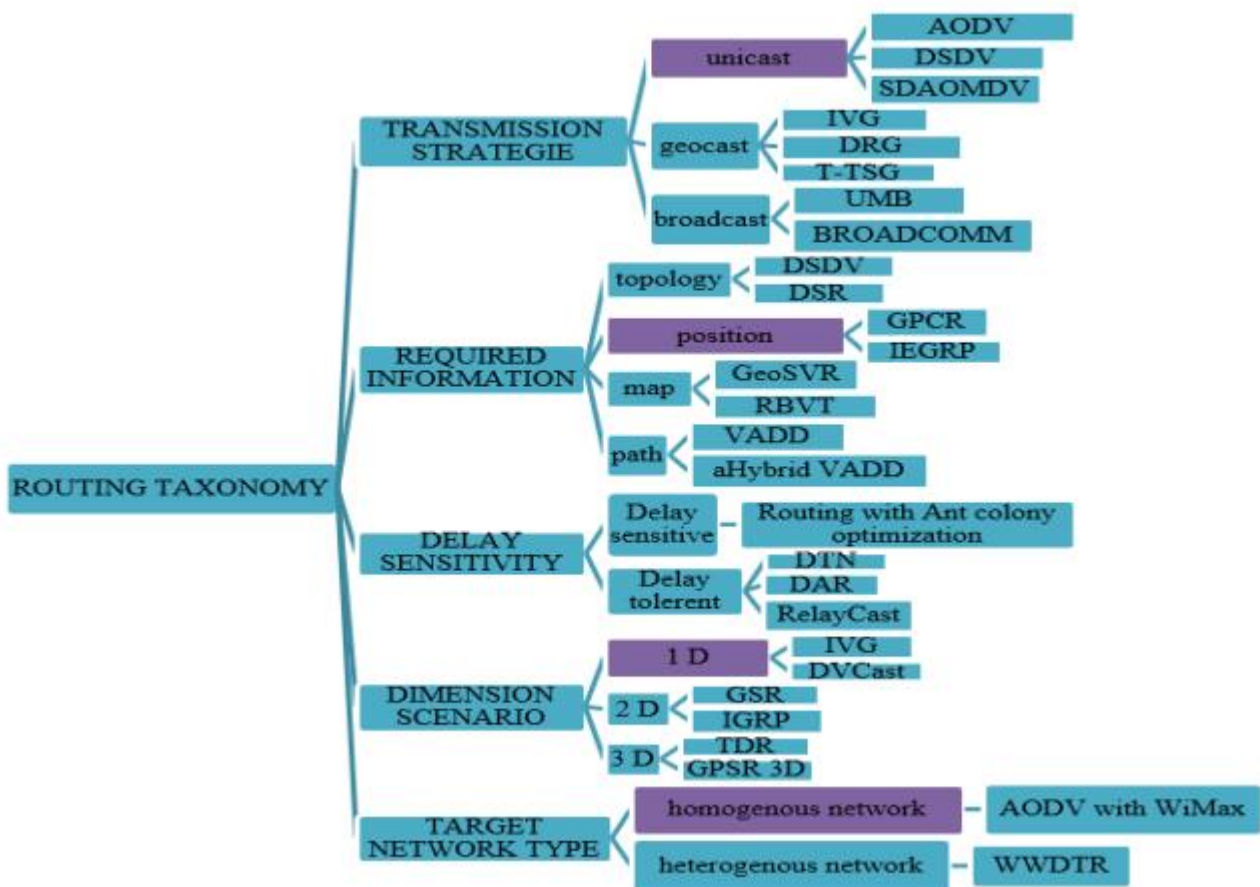


Figure I.1: Taxonomie des protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires [55]

Le protocole de routage VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery) [58], utilise la technique "store and forwarding" : un véhicule en mouvement porte un paquet, calcule, selon un modèle de délai d'acheminement, le prochain lien qui réduit le retard de livraison puis envoie le paquet sur ce lien. Contrairement à d'autres solutions, ce protocole intègre la mobilité prévisible des véhicules, dans les limites imposées par un modèle de trafic existant et par la structure des routes. Des variantes de VADD sont proposées [58] ; elles déterminent lequel des liens permet d'assurer le plus faible

délai de livraison de données. Le choix du prochain lien est basé sur la localisation dans la première variante (Location VADD), et sur la direction dans l'autre variante (Direction VADD). Les deux critères de sélection combinés donnent le Hybrid VADD. Les résultats expérimentaux [59] révèlent que le Hybrid VADD présente de meilleures performances que Location VADD et Direction VADD. Ils démontrent par ailleurs que les protocoles VADD proposés devancent d'autres protocoles tels que : GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) avec buffer et Dynamic Source Routing (DSR) ; en termes de ratio de livraison de paquets, de délai de livraison et de surcharge de protocole.

Le protocole GPSR [59] [60] [61] au passage, basé sur la position géographique, est parfaitement adapté aux VANETs. En effet, un nœud choisit le prochain relai en fonction des informations de position qu'il reçoit périodiquement de ces voisins, et de la destination. En d'autres termes, plutôt que d'obtenir un grand nombre d'informations de routage, et de conserver des tables de voisinage et de routage, sa particularité consiste à récupérer les informations des véhicules voisins par un équipement de positionnement GPS. La stratégie d'acheminement ou de transmission est à la fois avide et périmétrique. Une amélioration de GPSR, le protocole I-GPSR (Improved GPSR) [62], ajoute comme critère de décision la vitesse de déplacement et l'orientation des véhicules. Le protocole I-EGRP (Improved Energy Efficient Grover Routing Protocol) [60] s'adapte aux environnements à faible débit ; il change dynamiquement ses décisions de routage via chaque borne RSU détectée. D'où son inconvénient : le choix est déterminé en fonction de la présence d'une infrastructure fixe.

Dans le même registre des protocoles basés sur les informations des structures routières, apparaît le protocole RBVT-R (Road Based Vehicular Traffic Reactive Protocol) [63], protocole réactif exploitant le trafic routier en temps réel pour créer des itinéraires grâce aux segments routiers à forte probabilité de connectivité réseau. Il réalise une élection distribuée du prochain saut en se basant sur une fonction de priorisation multicritères dont la densité de véhicules voisins [60].

Dans la catégorie des protocoles de routage multicritères, le MUDDS (Multi-metric Unicast Data Dissemination Scheme) [64] est un schéma de propagation de données unicast. Il détermine son choix du prochain relai grâce à deux métriques calculées localement à savoir : le taux de réception de paquets (PRR), et la disponibilité des liens (LA). Il fonctionne en deux phases : dans la première, il adapte sa portée de transmission pour garantir un PRR maximum, en fonction des facteurs de congestion et de densité de communication dans le réseau. Dans la seconde phase, il effectue la transmission de messages sur la base de la métrique LA. L'utilisation du PRR garantit la fiabilité du transfert des messages et le choix du relai basé sur LA réduit le nombre de sauts, et évite la fragmentation du réseau.

Le protocole MA-DSDV [65] (Multi Agent Destination-Sequenced Distance Vector routing) est une amélioration du protocole de routage à vecteur de distance, modélisé en système multi-agents. L'itinéraire est fourni avec le plus petit nombre d'agents relais. Ceux-ci agissent de manière autonome en cas de défaillances, et permettent la communication entre agents les informations nécessaires à la reprise du routage à tous ses voisins.

Le protocole GVGrid [66] [67] est orienté qualité de service (QoS) ; il construit un chemin à la demande, d'une source vers des véhicules positionnés dans une région géographique déterminée. Il divise la carte géographique en plusieurs grilles sur laquelle il met en évidence les liens entre les nœuds. Le choix des nœuds relai se fait selon le nombre de déconnexions du lien qui le relie à l'émetteur. L'objectif de GVGrid est de maintenir une route robuste qui résiste à la mobilité des véhicules. Les résultats expérimentaux ont montré que GVGrid pourrait fournir des itinéraires avec une plus longue durée de vie, par rapport à d'autres protocoles de routage pour VANETs. Son principal inconvénient est qu'il n'offre aucune garantie de délais optimaux qui est une métrique de qualité de service requise dans les VANETs.

La caractéristique supplémentaire qu'apporte l'IPv6 par rapport aux réseaux VANETs traditionnels est la forte probabilité d'avoir un réseau et des objets connectés complètement hétérogènes. En plus des problèmes classiques du routage homogène, l'utilisation des réseaux hétérogènes engendre un temps supplémentaire "Hand-over" qui représente le temps de passage d'une technologie d'accès réseaux à une autre. Les auteurs de [68] proposent une stratégie répartie de transfert vertical d'une technologie de communication à une autre appelée "Optimal Vertical Handoff" [68]. Dans un réseau hétérogène et grande échelle, la notion de clustering est très convoitée par la communauté. Lorsque les nœuds sont regroupés et que chaque cluster choisit son cluster Head, la question restante pour un nœud source est de choisir quel véhicule jouera un rôle de proxy, c'est-à-dire une passerelle vers l'infrastructure d'une autre technologie de communication [60]. Une stratégie de sélection proposée dans [69] offre une priorisation des technologies disponibles. Les auteurs optent par exemple pour la technologie LTE-Advanced (Long Term Evolution-Advanced, une norme de réseau de téléphonie mobile de 4ème génération) comme deuxième interface sans fil, qui attache directement la source à l'infrastructure. En vue d'améliorer le coût de communication, les auteurs conçoivent également un algorithme distribué, adaptatif et multicritères pour la sélection de passerelle d'un réseau à un autre, appelée "QoS based Gateway Selection". Cet algorithme s'avère meilleur que l'approche déterministe utilisant le cluster Head comme passerelle.

Conclusion Générale

En première partie, nous avons retracé les caractéristiques principales et spécifiques des réseaux VANET conventionnels, basés sur les concepts de réseaux Ad hoc et MANET. Leur combinaison dans le triptyque (VANETs, IoT, IoV) implique de s'intéresser à d'autres considérations qui étendent et améliorent les performances, notamment dans les modes de communication, les technologies de transmission et les contextes d'utilisation.

Dans une deuxième partie, nous avons abordé le cas à l'étude qui s'apparente à un réseau VANET appliqué à un trafic routier local. Pour cela, nous avons identifié les principales caractéristiques du dit réseau. Puis nous avons identifié l'environnement de simulation OMNeT++ et les différents frameworks liés, essentiellement Veins, ainsi que le simulateur de trafic routier SUMO. L'approche consiste à délimiter une zone géographique puis la convertir après une série de traitements par lignes d'instruction ou scripts python en un fichier exécutable par Veins

Des contraintes de temps et des bugs d'incompatibilité nous ont empêchés de poursuivre la procédure de simulation et réaliser les objectifs escomptés.

Comme perspectives justement il conviendrait de poursuivre le travail entamé pour approfondir la phase de simulation, et conforter et justifier pleinement notre travail de modélisation. Enrichir et confronter les résultats. Mais cela est un autre débat.

ANNEXE A: Technologie DSRC/WAVE - Standards de Communication

DSRC/WAVE

L'IEEE a étendu sa famille de protocoles 802.11 en ajoutant le standard 802.11p qui est dérivé de la couche physique du standard 802.11a pour s'adapter aux caractéristiques de DSRC. De plus, pour assurer des communications viables, le 802.11p utilise une approche multi canal. La norme IEEE 1609 regroupe 4 standards, définit l'architecture, le modèle de communication, la structuré de gestion, la sureté et l'accès physique. 802.11p et WAVE spécifient une pile protocolaire complète, comme l'illustre **Fig. ANNEXE.1 A**. Le modèle DSRC/WAVE utilise deux piles. Une pile pour les applications de sécurité routière et l'autre pour les deux autres catégories d'applications [54].

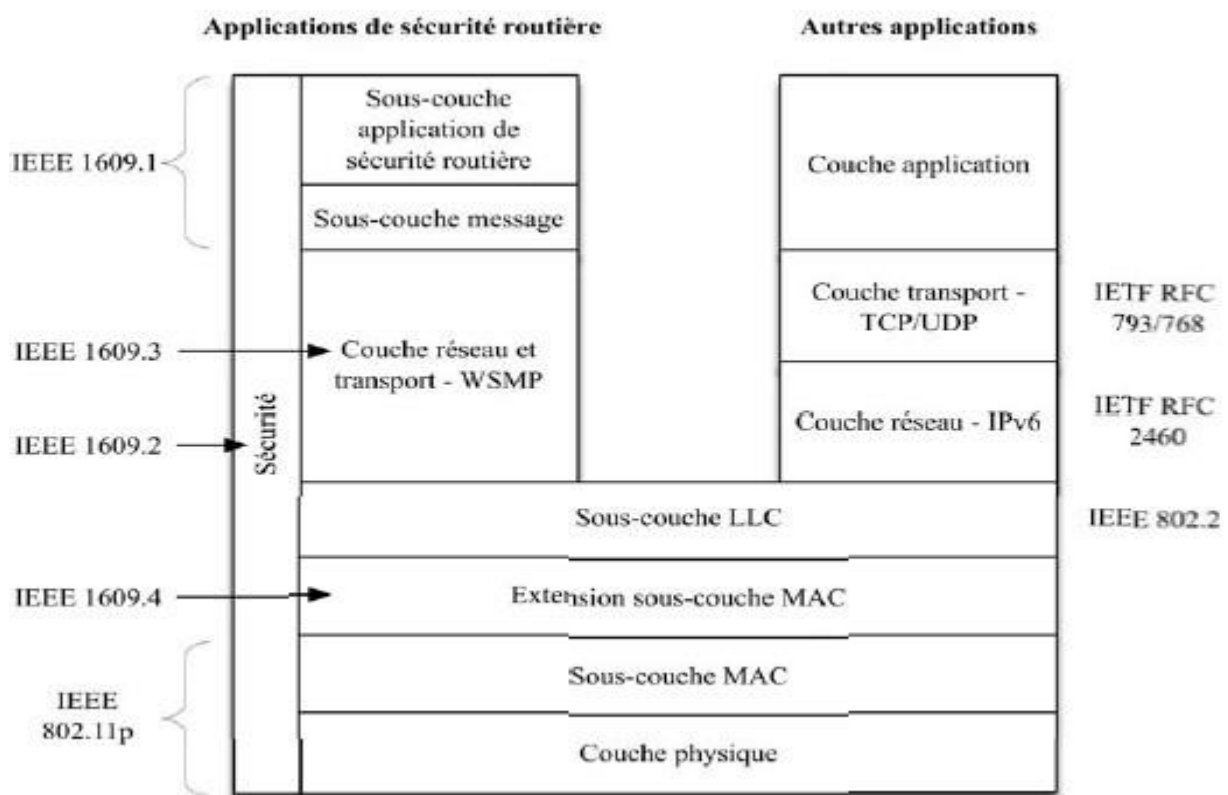


Figure. ANNEXE.1 A : Le modèle DSRC/WAVE - IEEE 1609 [54]

- **IEEE 1609.1 :**

Le standard IEEE 1609.1 définit un gestionnaire de ressources permettant la communication entre l'équipement de bord de route (RSU) et les équipements embarqués (OBUs) des véhicules à proximité. Ce standard définit aussi le niveau de la couche application, les formats des messages et le mode de stockage des données. Celui-ci décrit les trois éléments de la couche application qui seront inclus dans les OBUs.

-Le *Resource Manager* (RM) : gestionnaire des ressources, il relaie le message du RMA vers le RCP et il gère les services permettant le contrôle des interfaces présentes dans l'OBU.

-Le *Resource Manager Applications* (RMA): il s'agit de l'entité distante qui utilise le RM pour communiquer avec le RCP.

-Le *Resource Command Processor* (RCP) : il exécute les commandes données par le RMA et fournit une réponse au RMA via le RM.

Fig. ANNEXE.2 présente les modules et le fonctionnement du standard IEEE 1609.1

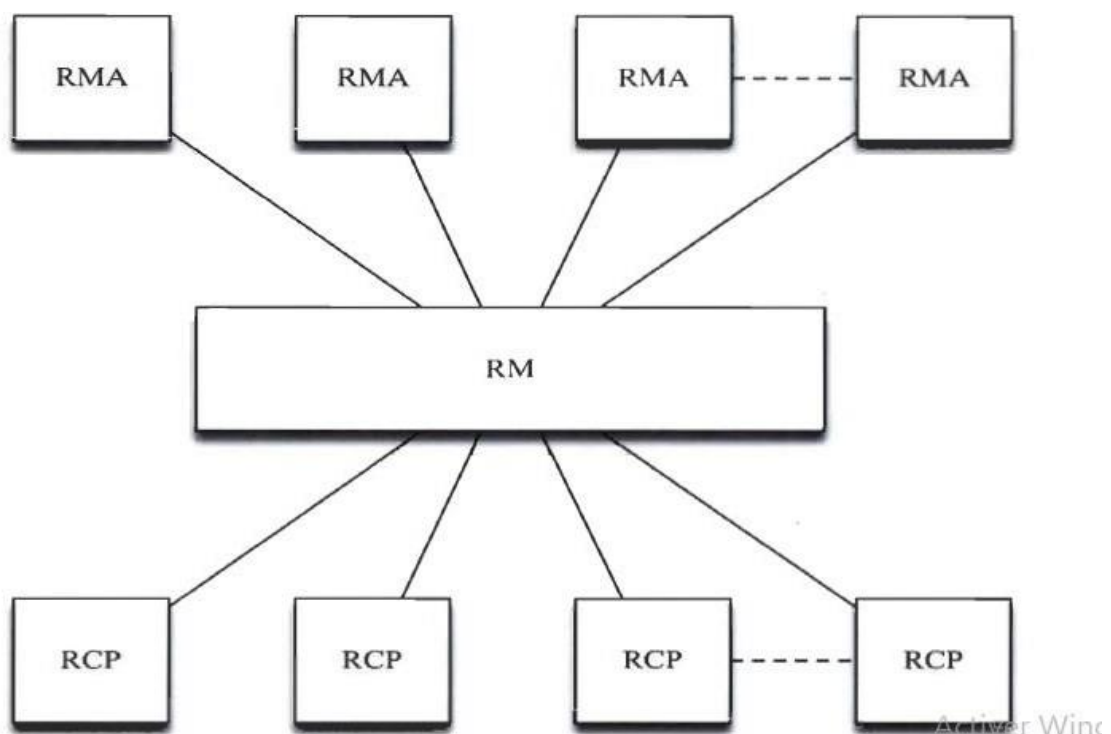


Figure. ANNEXE.2 A : Module du standard IEEE 1609.1 [54]

- **IEEE 1609.2**

Le standard 1609.2 a pour but de définir le format des messages sécurisés pour le système DRSC/WAVE. Il spécifie les algorithmes pour sécuriser les messages de gestion et d'application. Il décrit également les procédures pour assurer à chaque véhicule les services tels que l'authenticité, la confidentialité, l'intégrité et la non-répudiation. Chaque application ne requiert pas forcément ces services. Néanmoins, ils doivent être présents en cas de nécessité. Le standard 1609.2 protège les entités du réseau contre les différentes attaques.

- **IEEE 1609.3**

Le standard IEEE 1609.3 gère les services d'adressage et de routage dans le réseau. Il définit le « *WAVE Short Message* » (WSM) et le protocole d'échange « *WAVE Short Message Protocol* » (WSMP). Ceux-ci assurent les fonctionnalités des couches réseau et transports pour les applications de sécurités routières.

Ce standard définit également le « *WAVE Service Advertisement* » (WSA), qui annonce la disponibilité des services DSRC à une localisation donnée. Ces services permettent le contrôle de la puissance de transmission, du canal, du débit.

- **IEEE 1609.4**

Le standard 1609.4 définit l'organisation, l'ordonnancement et l'utilisation des différents canaux de système DSRC. Son but est de définir un mécanisme permettant à plusieurs équipements de s'accorder sur le même canal afin de communiquer. Le standard IEEE 1609.4 a une forte relation avec le mécanisme du mode EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) agissant sur la sous-couche MAC (*Medium Access Control*).

- **Bandes allouées**

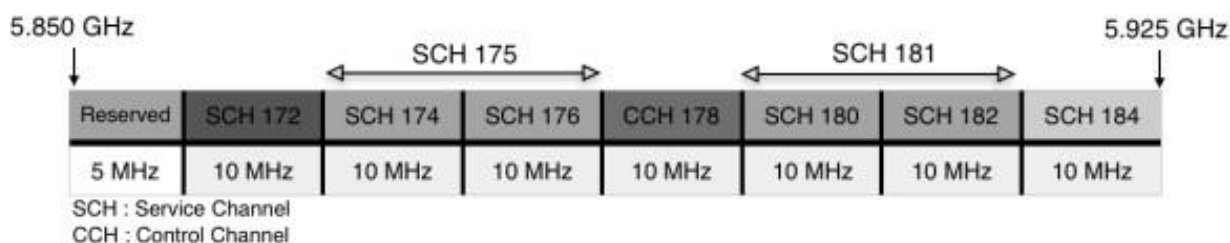


Figure. ANNEXE.3a A : Bandes allouées pour les VANETs aux États-Unis (54)

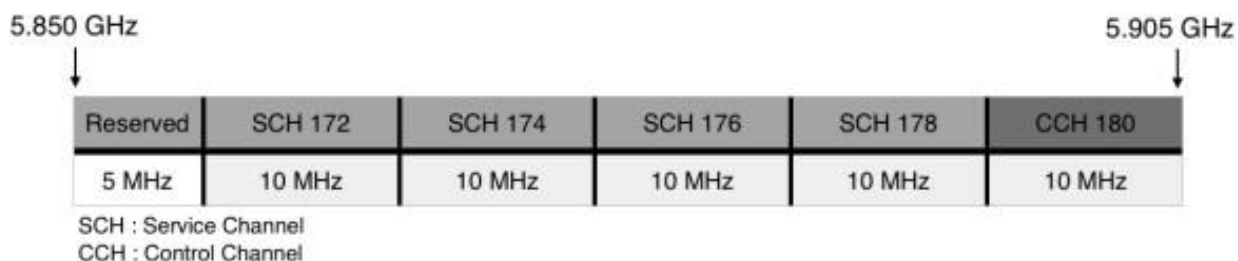


Figure. ANNEXE.3b A : Bandes allouées pour les VANETs en Europe [54]

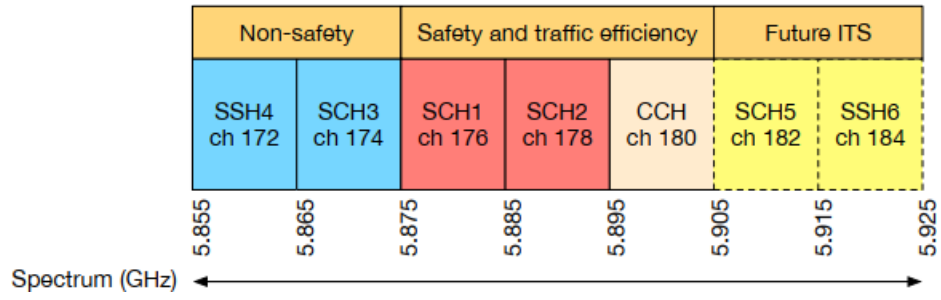


Fig. ANNEXE.3c A : Bandes allouées pour les VANETs en Europe en incluant les ITS [54]

CALM

ANNEXE B: OMNeT++/ INET/ Veins SUMO/

OMNeT++

OMNeT++ est un programme écrit en C++ destiné à simuler des réseaux de communication, des multiprocesseurs et d'autres systèmes distribués ou parallèles [58]. Ce simulateur est en open source, gratuit, à usage académique. OMNeT++ a été conçu pour faire ce qui suit [59] :

- Permettre des simulations à grande échelle avec des modèles réutilisables.
- Faciliter la traçabilité et le débogage.
- Les logiciels de simulation doivent être modulaires.
- Analyser les fichiers d'entrée et de sortie avec un logiciel commun.

Afin de fournir des simulations à grande échelle avec des modèles réutilisables, Omnet++ utilise des modules pour développer les différents composants de la simulation. Les modules simples sont les modules les plus basiques car ils offrent des fonctionnalités extrêmement basiques. Les modules composés sont créés en regroupant des modules simples pour créer un objet avec une fonctionnalité complexe, comme un véhicule équipé d'une radio IEEE802.11b. Les modules contiennent différents paramètres de configuration qui peuvent être transmis à ses sous-modules pour personnaliser le module. Les paramètres peuvent être représentés sous forme de chaînes, de nombres ou de pointeurs. Afin que les modules communiquent entre eux, ils échangent des messages. Chaque message contient un horodatage et des données relatives à la communication entre deux modules. Les modules sont reliés les uns aux autres par un module de connexion aux accès (gates) appropriés.

OMNeT++ surveille les schémas de communication des nœuds VANET via l'utilisation du framework INET. Un framework est un plug-in pour OMNeT++ qui contient de nombreux modules (interfaces réseau, différentes couches, applications, noeuds exemple, etc.) à utiliser dans les simulations. Ce framework INET fournit les modules nécessaires pour simuler différents types de réseaux et de couches réseau [59], y compris le réseau ad hoc sans fil IEEE802.11b utilisé dans ce travail. Le projet Obstacles, associé au framework INET, a permis à Omnet++ de modéliser des bâtiments, ce qui a permis une simulation plus réaliste d'un VANET. Cela ne sera pas aussi important en milieu rural, mais dans un environnement urbain, il y a de nombreux bâtiments qui influenceront sur la façon dont les signaux sans fil sont transmis.

Les modules d' OMNeT++ sont connectés les uns aux autres aux portes d'entrée et de sortie à l'aide de modules de connexion simples. Ces connexions sont toutes définies dans un

fichier qui utilise le langage NED, comme indiqué en **Fig. ANNEXE 1 B**. Le propre langage de description de topologie d'Omnet est ce que l'utilisateur utilise pour définir comment ses modèles seront configurés [58]. Tout comme les modules ont été conçus pour être réutilisables, les modèles NED sont également réutilisables et conçus pour fonctionner avec d'autres fichiers NED pour créer des modèles beaucoup plus grands. Une caractéristique intéressante d'Omnet++ est qu'il utilise un éditeur bidirectionnel pour créer et modifier les fichiers NED qui composent l'environnement. Une option pour l'édition NET est à travers un éditeur de texte générique, que OMNeT++ fournit ou l'utilisation d'un éditeur tiers. La deuxième option pour l'édition est via OMNeT++ GUI qui permet de glisser-déposer des fichiers et des connexions NED prédéfinis et définis par l'utilisateur.

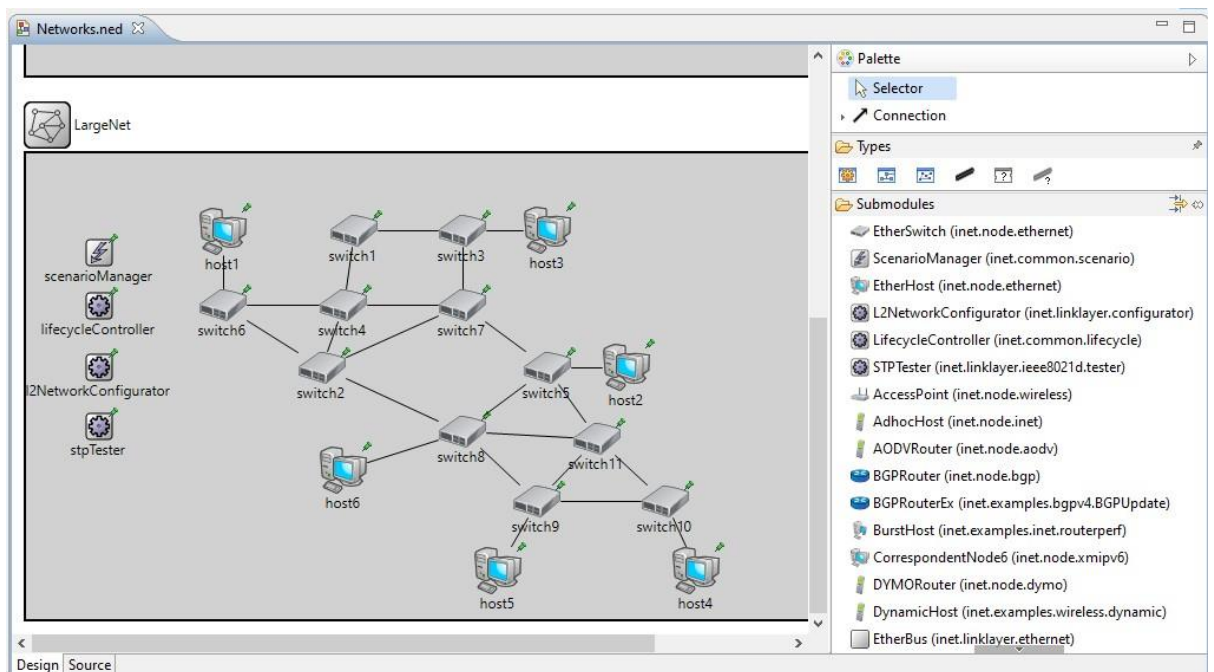


Figure. ANNEXE 1 B : Exemple de fichier .ned (59)

SUMO

Simulation of Urban Mobility (SUMO) est une application C++ développée pour simuler le mouvement d'objets le long d'un réseau routier. C'est un simulateur gratuit, en open source, hautement portable, microscopique et continu, qui a été développé à l'origine pour l'utilisation des employés de l'Institut des transports au Centre aérospatial allemand. En plus de pouvoir modéliser de petites zones, SUMO est également capable de modéliser le trafic sur de grands réseaux, tels que des villes ou des réseaux autoroutiers, sans aucun changement.

Les simulations SUMO sont considérées comme multimodales, ce qui signifie que chaque objet de la simulation est simulé (60). Non seulement les voitures sont simulées, SUMO prend également en compte tout système de transport public, les réseaux ferroviaires, les feux de circulation ainsi que les piétons. Il est livré avec un grand ensemble d'outils pour la création de scénarios. Chaque objet de la simulation est modélisé individuellement, de sorte qu'il n'y a pas deux véhicules identiques. Au cours de chaque étape de simulation, les valeurs de chaque nœud sont mises à jour. L'un des inconvénients de SUMO est que l'utilisateur est limité à une seconde étape de simulation. Pendant la simulation, les véhicules doivent obéir aux règles de base comme dans un environnement de circulation réelle. Les nœuds doivent suivre la vitesse maximale d'une route, observer la priorité par rapport à d'autres véhicules, et même la vitesse à laquelle se fait l'accélération ou la décélération d'un véhicule.

Pour résumer, la dernière version de SUMO offre les fonctionnalités suivantes [59][60]:

- Open source, portable, performances
- Simulation microscopique, trafic multimodal et Interaction en ligne
- Différents types de véhicules
- Communication avec le véhicule avec conduite automatisée
- Mouvement du véhicule sans collision
- Gestion du trafic, priorité aux intersections et feux de circulation
- piétons
- Rues à voies multiples avec possibilité de changer de voie
- Génération de la demande et résultats bruts pour chaque simulation
- Importation réseau et saisie à partir de fichiers XML

Tool	Advantages	Disadvantages
Traffic and Network Simulator (TraNs) (SUMO and ns-2).	Flexibility and real world maps. Integrated solution.	No feedback is provided from ns-2 to SUMO. Development suspended recently.
National Chiao Tung University network simulator (NCTUns) is a proprietary mobility and communications simulator.	Single application with integrated GUI. Popular for VANET research.	NCTUns is UNIX-based and only runs on Fedora. Limited support.
VanetMobiSim with ns-2.	Flexible mobility models with micro-mobility and macro-mobility models. Maps can be imported from TIGER database.	No feedback is provided from ns-2 to VanetMobiSim. Separate simulators.
Vehicles in Network Simulation (Veins), which integrates SUMO and OMNeT++	Flexibility and real world maps. Active community with support. Full IEEE 802.11p implementation. Integrated solution.	

Figure. ANNEXE.B 2 : Avantages/Inconvénients de l'utilisation de l'ensemble (*OMNeT++*, *Veins*, *SUMO*)

Pour modéliser avec précision un réseau VANET, Omnet++ et SUMO sont connectés avec une technique pour synchroniser le mouvement des nœuds entre deux simulateurs. L'interface de contrôle du trafic (TraCI) est utilisée pour coupler les simulateurs. TraCI fonctionne de manière client-serveur [61]. Le serveur TraCI fonctionne sur le PC client en tant que troisième application ; il attend que les clients TraCI établissent une connexion. Le client TraCI est intégré dans la simulation réseau, et dans Omnet++ fait partie du nœud réseau qui est simulé. Lorsque la simulation réseau est lancée, les nœuds se connectent au serveur et attendent que des commandes soient envoyées. Omnet++ enverra un message de synchronisation au serveur pour dire au simulateur de trafic, SUMO, d'avancer d'un pas. SUMO enverra ensuite les résultats de la simulation (coordonnées du véhicule) au simulateur réseau.

Le simulateur réseau a été couplé au simulateur de trafic/mobilité via une connexion TCP. Cela a permis à chaque simulateur de fonctionner indépendamment tout en maintenant une connexion avec l'autre simulateur pour des résultats précis. La configuration de base de ce simulateur reste relativement simple. Le simulateur réseau (Omnet++), qui était le simulateur maître, a effectué deux tâches essentielles. La première consiste à maintenir les connexions entre les nœuds du réseau ad hoc sans fil. Le simulateur réseau contrôle également les pas de temps entre les deux simulateurs, ce qui garantit que ni l'un ni l'autre ne soient désynchronisés. Sa tâche consiste à indiquer à SUMO quand passer à l'étape suivante. Une fois que SUMO a terminé sa prochaine étape de simulation, il renvoie l'emplacement mis à jour de tous les nœuds dans le réseau de trafic. Omnet++ mettra alors à jour les emplacements des nœuds dans le réseau et effectuera les étapes de communication nécessaires. **La Fig. ANNEXE.B 3** montre un exemple de la façon dont le client et le serveur interagissent.

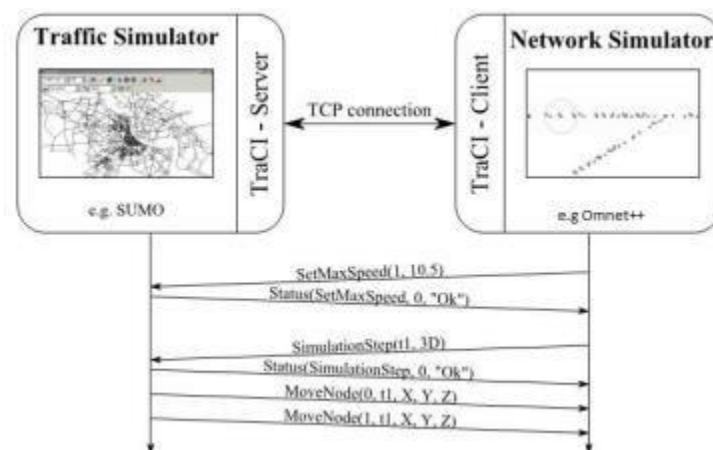


Figure. ANNEXE.B 3 : Exemple de connexion TraCI

References

Références

1. -, [**Ducourthial b.** «About efficiency in wireless communication frameworks on vehicular networks»-Invited paper, workshop ACM WIN-ITS co-located with IEEE ACM Qshine 2007, Canada, August 2007].
2. [**Stefano Basagni, Marco Conti, Silvia Giordano, and Ivan Stojmenovic** -. « Mobile ad hoc networking : The cutting edge directions », chapter 14 – 19-Wiley – IEEE PRESS, 2nd edition, March 2013.
3. [**M. Gerla, E. K. Lee, G. Pau, et U. Lee.**, « Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds », in 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2014, International Journal of Distributed Sensor Networks , Vol 12, .
4. [**W. Liang, Z. Li, H. Zhang, S. Wang, et R. Bie.**, « Vehicular Ad Hoc Networks: Architectures, Research Issues, Methodologies, Challenges, and Trends », International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 11, no 8, p. 745303, 2015].
5. [**Tan, L., Wang, N.:** Future Internet: The Internet of Things. In: 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), August 20-22, pp. V5-376–V5-380 (2010)].
6. [**Atzori, L., Iera, A., Morabito, G.:** The Internet of Things: A survey. Computer Networks 54(15), 2787–2805 (2010)].
7. [**Presser, M., Gluhak, A.:**]. The Internet of Things: Connecting the Real World with the Digital World. In: EURESCOM mess@ge – The Magazine for Telecom Insiders, vol. 2 (2009).
8. [**Yaqoob I., Hashem I. A. T., Mehmood Y., Gani A., Mokhtar S., and Guizani S.,**]. “Enabling communication technologies for smart cities,” IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 1, pp. 112–120, 2017.
9. [**Mehmood Y., Ahmad F., Yaqoob I., Adnane A., Imran M., and Guizani S.,** “Internet-of-Things-Based Smart Cities: Recent Advances and Challenges,” IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 9, pp. 16–24, 2017].
10. [<https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time/> dernier accès : 24/06/2022. [En ligne]
11. [<https://www.marketresearchfuture.com/reports/automobile-iot-market-2416> dernier accès 24/06/2022]. . [En ligne]
12. **Bourgod C.** « Contribution à la sécurisation du routage dans les réseaux ad hoc », thèse de doctorat – Université de Limoges, octobre 2009.
13. **Kumar J., Kulkarni M., Gupta D.,** “Effect of black hole attack on MANET routing protocols”, I. J. Computer Network and Information Security, 5, pp. 64-72, 2013.
14. **Petit J.** « Surcoût de l’authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires », thèse de doctorat – université de Toulouse, juillet 2011.
15. **Bachir A., Benslimane. A.,** “A multicast protocol in ad hoc networks intervehicle geocast”, In Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring.

16. **Bernsen J., Manivannan D.** « Unicast routing protocols for vehicular ad hoc networks: A critical comparison and classification », elsevier journal of pervasive and mobile computing, vol. 5, pp. 1-18, 2009.
17. **AL-SULTAN S., AL-DOORI M. M., AL-BAYATTI A. H., ZEDAN H.** «A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network” J. Netw. Comput. Appl., 37, pp. 380–392, 2014.
18. **Ghosh, M., Varghese, A., Kherani, A. A., Gupta.,** “A. Distributed Misbehavior Detection in VANETs”. In Proceedings of the IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC), Budapest, Hungary, pp. 5–8, April 2009.
19. **Sheikh M. S., Liang J., Wang W.,** “A Survey of Security Services, Attacks, and Applications for Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs)” Sensors, 2019.
20. **Azees, M., Vijayakumar P., Deborah, L.J.,** “A Comprehensive Survey on Security Services in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs)”. IET Intell. Transp. Syst., 10, pp. 379–388, 2016.
21. **Santa J., Gómez-Skarmeta A. F., Sánchez-Artigas M.,** «Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks», computer communications, vol. 31, no. 12, pp. 2850-2861, Jul. 2008.
22. **Jerbi M.** « Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et geocast basés sur les intersections », thèse de doctorat, université d'Evry Val d'Essonne, 2008.
23. **Fiore M., Harri J., Filali F., Bonnet C.,** «Vehicular mobility simulation for VANETs», in proceedings of the 40th annual simulation symposium, norfolk, va, 2007.
24. **Xin Wang, editor.** “Mobile Ad-Hoc Networks : Applications”. INTECH, January 2011.
25. **Moustafa H., Zhang Y., editors.** “Vehicular Networks : Techniques, Standards and Applications”, CRC Press, 2009.
26. **Berbineau M., Jonsson M., Bonnin J-M., Cherkaoui S., Aguado M., Rico-Garcia C., Ghannoum H., Mehmood R., Vinel A.(Eds.), editors.** “Communication Technologies for Vehicles », Springer, May 2013.
27. **Rivaton O.** « Le routage de l’information dans les réseaux véhiculaires mobiles, mémoire de maîtrise Université Laval -Québec Canada, 2016.
28. **Raychaudhuri D., Gerla M.,** “Emerging wireless technologies and the future mobile internet”, Cambridge university press, 2011.
29. **Singh G., Singh T.,** “Review on Technologies In wireless Networks” in International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, ISSN: 2348-7550, Volume-4, Issue-1, May 2016.
30. **Shahid Anwer M., Guy C.,** “A survey of VANET technologies”, Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, vol.5, no.9 , ISSN 2079-8407, 2014.
31. **Bouchentouf H., Boudghene Stambouli R.,** « Etude des performances des réseaux 4G (LTE) », mémoire de master, Université de Tlemcen, 2013.
32. **[S. Sharma S., Kaushik B. ,** “A survey on internet of vehicles: Applications, security issues & solutions,”.
33. **[Contreras-Castillo J., Zeadally S., Guerrero-Ibanez J. A.,** “Internet of Vehicles: Architecture, Protocols, and Security,” IEEE Internet Things J.,

34. **al., [Marquez-Barja J. M. et.** “Breaking the Vehicular Wireless Communications Barriers: Vertical Handover Techniques for Heterogeneous Networks », *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(12), pp. 5878-5890, 2015].
35. **[Tornell, S. M., Patra S., Calafate, C. T., Cano J.-C., Manzoni P.** “**GRCBox: Extending Smartphone.** “GRCBox: Extending Smartphone.
36. **[Wu W., Yang Z., & Li K.,** « Internet of Vehicles and applications”, *Internet of Things: Principles and Paradigms,*
37. **[Liang, H., Wu, J., Mumtaz, S., Li, J., Lin, X., Wen, M.** « MBID: Micro-Blockchain-Based Geographical Dynamic Intrusion Detection for V2X », *IEEE Commun. Mag.*, 57(10), pp.77-83, 2019.
38. **[Sherazi, H. H. R., Iqbal, R., Ahmad, F., Khan, Z. A., Chaudary, M. H.,** “DDoS attack detection: A key enabler for sustainable communication in internet of vehicles”, *Sustain. Comput. Informatics Syst.*, 23, pp.13-20, 2019.
39. **[Shorey R., Miller B. A.,** ”The Bluetooth technology: merits and limitations”, *IEEE International Conference on Personal Wireless Communications*, pp- 80 – 84, 2000] .
40. **[Frank R., Bronzi W., Castignani G., Engel T.,** "Bluetooth Low Energy: An Alternative Technology for VANET Application”, *Proc. Of 11th IEEE/IFIP Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services*, 2014].
41. **[Mamdouhi H., Khatun S., Zarrin J.,** ”Bluetooth Wireless Monitoring, Managing and Control for Inter Vehicle in Vehicular Ad-Hoc Networks”, *Journal of Computer Science*, Vol.5, Issue.12, pp.922-929, 2009].
42. **[Ramya C.M., Shanmugaraj M., Prabakaran R.,** "Study on ZigBee technology", 2011 3rd International Conference on Electronics Computer.
43. **[Bhargav K.R.K., Singhal R.,** "Zigbee based VANETs for accident rescue missions in 3G WCDMA networks," *Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 2013 IEEE , pp.310-313, 2013].
44. **[Selvarajah K., Tully A., Blythe P.T.,** ZigBee for Intelligent Transport System applications," *Road Transport Information and Control - RTIC 2008.*
45. **[Almazroi A. A.** “Performance analysis of 4G broadband cellular networks,” *Int. J. Adv. Appl. Sci.*, vol. 5, no. 9, pp. 12–17, 2018]. .
46. **[Hartenstein H., Laberteaux K. P.** « A tutorial survey.
47. **[Kowshik H., Caveney D., Kumar P. R.,** “Provable systemwide safety in intelligent intersections. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 60(3), 804-818, 2011].
48. **[Toor Y., Mühlethaler P., Laouiti A., De La Fortelle A.,** « Vehicle ad hoc networks: Applications and related technical issues. *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, 10(3), 74-88, 2008].
49. **[Colombo A., Del Vecchio D.,** “Supervisory control of.
50. —. “Efficient algorithms for collision avoidance at intersections”, *HSCC’12 - Proceedings of the 15th ACM International Conference on.*
51. **[Hossain E. et al.** “Vehicular telematics over heterogeneous wireless networks: A survey”. *Comput. Commun.*, 33(7), 775-793, 2010].

52. Huang J. M., « Research on Internet of Vehicles and its Application in Intelligent Transportation », *Applied Mechanics and Materials*, vol. 321-324, p. 2818-2821, 2013.
53. ur Rehman S., Khan M. A., Zia T. A., et Zheng L., « Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs) – An Overview and Challenges », *Journal of Wireless Networking and Communications*, vol. 3, no 3, p. 29-38, 2013.
54. Fan L., Li G., Yang J., Sun H., et Luo Z., « The design of IOV overall structure and the research of IOV key technology in intelligent transportation system », *International Power, Electronics and Materials Engineering Conference, Dalian, Chine, 2015*.
55. Alouache L., Nguyen N., Aliouat M., Chelouah R. « **New robust protocol for IoV communications** » ISTE OpenScience 2017
56. Ghanishtha N. et Yogesh J., « Review on classification of different VANET Protocols based on routing information », *International Journal Of Advanced Reaserch in Computer and Communication Engineering*, p. 388– 392, 2015
57. Maowad H. et Shaaban E., « Enhancing AOMDV Routing Protocol for V2V Communication », in *Proceedings of the 6th International Conference on Communications and Information Technology, and Proceedings of the 3rd World Conference on Education and Educational Technologies*, Stevens Point, Wisconsin, USA, p. 20–27, 2012.
- 58.
- 59.
60. <https://omnetpp.org/download/old> (dernier accès : 27/06/2022). [En ligne]

61. **Sommer C., Eckhoff D., Brummer A., Buse D., Hagenauer F., Joerer S., Segata M.,** « Veins – the open source vehicular network simulation framework » in Recent Advances in Network Simulation, Antonio Virdis and Michael Kirsche (Eds.), Springer, 2019.
62. **Sommer C., German R., Dressler ,F.,** "Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis," IEEE Transactions on Mobile Computing (TMC), vol. 10 (1), pp. 3-15, January 2011.
63. 27/06/2022), <https://veins.car2x.org/> (dernier accès :. [En ligne]
64. <https://www.eclipse.org/sumo/> (dernier accès : 27/06/2022). [En ligne]
65. <https://www.openstreetmap.org/> (dernier accès : 26/06/2022). [En ligne]
66. **J Varga A.** "THE OMNET ++ DISCRETE EVENT SIMULATION SYSTEM," The.
67. **A. L. Santos and F. Milagro.** "Experimental demonstration of the viability of IEEE,".
68. **[Krajzewicz D., Hartinger M., Hertkorn G., Mieth P., Ringel J., Rssel C., Wagner P.,** "The "Simulation of Urban MObility" package : An open source traffic simulation," in 2003 European Simulation and Modelling Conference, 2003].
69. **S. Fischer, J.-p. Hubaux, A. Wegener, M. Pi, M. Raya, and H. Hellbr.,** "TraCI : An.