

11A 004. 509 1

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad DAHLEB de Blida

Faculté des sciences

Département d'informatique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Mathématiques et d'Informatique

Filière : Informatique

Spécialité: Ingénierie Logiciel

THEME

Analyse et évaluation des performances dans les réseaux véhiculaires (VANETs) avec QOS

Rapport présenter par : Grini Hichem

Fattek Aida

Soutenu devant le jury composé de :

Président

Mme. REZOUG Nachida

Examineur

Mme. BOUTOUMI Bachira

Promoteur

Mr. OUELD KHAOUA mohamed

Co-promoteur

Mr. HARKAT Yacine

Promotion : 2016-2017

MA-004-509-1



Remerciement

*Nous remercions tout d'abord notre dieu (Allah) pour la
patience
qui nous offert pour finaliser ce travail dans des bonnes
conditions.*

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos vifs
remerciements et nos profondes reconnaissances à tous
particulièrement notre promoteur Mr. HARKAT Yacine,
d'avoir accepté de diriger ce travail.*

*Nous remercions chaleureusement Mr. OUELD KHAOUA
Mohamed qui nous
aide durant notre travail et par sa patience et ses
Précieux conseils.*

*Nous remercions vivement les membres du jury qui ont
Bien accepter du juger notre travail.*

*Nous remercions tous les enseignants du département
d'informatique, aussi notre
promotion 2016-2017 Master génie logiciel.*

*A tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué par leurs
conseils, leurs encouragements et leurs amitiés, à
l'édification de ce projet.*

A toutes ces personnes, merci du fond du coeur.

DÉDICACES



*C'est avec un grand plaisir que nous dédions ce
modeste travail,
fruit de notre études en exprimant notre profonde
gratitude à
tous nos proches particulièrement :
À nos précieux parents pour leur amour,
affection et compréhension
À nos sœurs !
À nos frères !
À tous nos amis*

Table des matières

<i>Liste des figures et des Tableaux.....</i>	I
<i>Liste des Acronymes.....</i>	III
<i>Introduction générale</i>	01

Chapitre I : Généralité sur les véhicules intelligents

II.1. Introduction.....	3
I.2. Ville intelligente.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Transport intelligent.....	3
I.2.3. Véhicules intelligents.....	4
I.3. Systèmes intelligents de transport.....	4
I.3.1. Définition.....	4
I.3.2. Les technologies actuelles au service des STIs.....	5
I.3.2.1 Panneaux d'informations.....	6
I.3.2.2 Communication par satellite.....	6
I.3.2.3 Communications courtes-distances sans fil.....	6
I.3.3. Les applications des STIs.....	6
I.3.3.1 Sécurité des usagers.....	7
I.3.3.2 Gestion du trafic.....	7
I.3.3.3 Amélioration du confort de la conduite.....	8
I.4. Conclusion.....	8

Chapitre II: Les Réseaux Ad-Hoc de véhicules

II.1 Introduction.....	9
II.2 Les réseaux mobiles Ad-Hoc (MANET).....	9
II.3 les réseaux VANET (Véhicular Ad hoc NETwork).....	9
II.3.1 définition.....	9
II.3.2. Historique.....	10

II.3.3. Les composants des VANETs.....	11
II.3.3.1. TA (Trusted Authority).....	12
II.3.3.2. Station de bord de la route (RSU, Roadside Unit).....	12
II.3.3.3. Les unités embarquées (OBU, On Board Unit).....	13
II.3.4. Les modes de communication dans les réseaux VANETs.....	13
II.3.4. 1. Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V).....	13
II.3.4. 2. Mode de communication de Véhicule à Infrastructure (V2I).....	14
II.3.4. 3. Mode de Communications hybrides.....	14
II.3.5. Environnement des VANET.....	14
II.3.5.1. Environnement urbain.....	15
II.3.5.2. Environnement rural.....	15
II.3.5.3. Environnement autoroutier.....	15
II.3.6. Les caractéristiques des VANETs.....	15
II.3.6.1. La capacité d'énergie et stockage.....	15
II.3.6.2. La topologie et la connectivité.....	15
II.3.6.3. Le modèle de mobilité.....	16
II.3.6.4. La sécurité et l'anonymat.....	16
II.3.7. Applications.....	16
II.3.7.1. Applications pour la sécurité routière.....	16
II.3.7.2. Applications pour les systèmes d'aide à la conduite et les véhiculescoopératifs.....	16
II.3.7.3. Applications de confort du conducteur et des passagers.....	17
II.4. Conclusion.....	17
<i>Chapitre III :Standards de communication dans les VANETs et la qualité de service</i>	
III.1. Introduction.....	19
III.2. Les communications dédiées à courte portée DSRC.....	19

III.3. Norme IEEE1609 pour l'accès sans fil dans les environnements de véhicules (WAVE).....	20
III.4. La norme IEEE 802.11a.....	22
III.5. La norme IEEE 802.11p.....	23
III.5.1. la Couche PHY IEEE 802.11p.....	23
III.5.2. Couche MAC 802.11p.....	24
III.5.2.1. La Fonction de Coordination Distribuée (DCF).....	25
III.6. La qualité de service et 802.11.....	27
III.6.1. Définition La qualité de service QoS.....	27
III.6.2. Niveaux de service.....	28
III.6.3. Critères ou paramètres de qualité de service.....	28
III.6.3.1. Débit Moyen (Average Throughput).....	28
III.6.3.2. Délai Moyen de Bout en Bout (Average End to End Delay).....	28
III.6.3.3. Le Rapport de Livraison des Paquets (Package Delivery Ratio PDR).....	28
III.6.3.4. Gigue (variation de retard en anglais jitter).....	28
III.6.3.5. Perte de paquet (en anglais packet loss).....	29
III.6.4. Présentation d'IEEE 802.11e.....	29
III.6.4.1. La Fonction de Coordination Distribuée Améliorée (EDCF).....	30
III.7. Conclusion.....	32

Chapitre IV: les protocoles de routage dans les réseaux ad hoc

IV.1. introduction.....	33
IV.2. Définition du routage.....	33
IV.3. Classification des protocoles de routage.....	33
III.3. 1. Les protocoles de routage proactifs.....	33
III.3. 2. Protocoles de routage réactifs.....	34
III.3.3. Les protocoles de routage hybrides.....	34
III. 4. Éventail des principaux protocoles de routage en réseaux Ad Hoc.....	35
III. 4.1. Présentation du protocole de routage DSR (Dynamic Source Routing).....	35
III. 4.1.1. Les Performances du protocole de routage DSR.....	36
III. 4.2. Présentation du protocole de routage AODV (Ad hoc On demand Distance Vector).....	36
III. 4.2.1. Les Performances du protocole de routage AODV.....	36

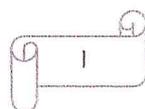
III. 4.3. Présentation du protocole de routage OLSR(Optimized Link State Routing).....	37
III. 4.3.1. Les Performances du protocole de routage OLSR.....	37
III.5. Autres protocoles.....	37
III.6. Les études préliminaires.....	38
III.6. Conclusion.....	39
<i>Chapitre V :La simulation et la présentation des résultats</i>	
V.1. Introduction.....	40
V.2. Simulateur de réseau.....	40
V.3. Environnement de simulation: OPNET MODELER.....	40
V.4. La structure d'OPNET.....	41
V.5. Présentation des topologies.....	41
V.6. Implémentation de 802.11p sous OPNET.....	44
V.7. Présentation de la simulation et les Résultats	45
V.7.1. Section 01 : Evaluation de l'EDCF 802.11p.....	45
V.7.2. Section 02 : Evaluation de performances des standards IEEE 802.11a et IEEE 802.11p.....	47
V.7.3. Section 03: Etude comparative entre les protocoles de routage AODV, DSR et OLSR avec IEEE 802.11p.....	50
V.7.4. Section 04: l'impact de la vitesse sur le protocole de routage AODV avec le standard l'IEEE 802.11p.....	53
V.8. Conclusion.....	55
Conclusion générale et perspectives.....	58

Liste des figures

Figure II.1 : Réseau VANET.....	10
Figure II.2: Exemple sur les différents terminaux d'un véhicule intelligent.....	11
Figure II.3: Mode de communication et composants VANETs.....	13
Figure II.4: Types de communication dans un réseau de véhicules.....	14
Figure III.1: Bandes allouées pour les VANETs aux États-Unis et en Europe.....	20
Figure III.2: Normes DSRC et la pile de communication	21
Figure III.3. DCF dans la norme 802.11.....	26
Figure III.4: La méthode d'accès au support dans IEEE802.11 etIEEE802.11e/p.	27
Figure III.5: l'Architecture MAC d'IEEE 802.11 e.....	29
Figure III.6: Le mécanisme EDCF dans la couche MAC.....	30
Figure III.7: EDCF à la couche MAC 802.11p.....	31
Figure IV.1: La classification des protocoles de routage.....	33
Figure V.1. Interface du Modeller 14.5.....	47
Figure V.2. La topologie (B).....	48
Figure V.3. La topologie (A).....	49
Figure V.4. Paramètres de couche PHY IEEE 802.11 p.....	50
Figure V.5. Paramètres d'EDCA en IEEE 802.11 p.....	51
Figure V.6. Comparaison du délai bout en bout pour les quatre accès catégorie avec 802.11a	52
Figure V.7. Comparaison du délai bout en bout pour les quatre accès catégorie avec 802.11p.....	52
Figure V.8. Comparaison entre IEEE 802.11 a et IEEE 802.11 p en terme de débit moyen.....	54
Figure V.9. Comparaison entre IEEE 802.11 a et IEEE 802.11 p en terme de délai de bout en bout.....	54
Figure V.10. Comparaison entre IEEE 802.11 a et IEEE 802.11 p en terme de perte de données.....	55
Figure V. 11. Le débit moyen en fonction de temps simulé.....	56
Figure V.12. Le Délai moyen en fonction de temps simulé.....	57
Figure V.13. Le taux de perte de données en fonction de temps simulé.....	58
Figure V.14. Trafic reçu (paquet/sec) en fonction de temps simulé.....	59
Figure V.15. Moyenne de délai de bout en bout en fonction de temps simulé.....	60
Figure V.16. Moyenne de perte de paquet en fonction de temps simulé.....	60

Liste des Tableaux

Tableau II.1: Comparaison entre MANET et VANET.....	10
Tableau III.01: Résumé des normes 802.11.....	22
Tab III.02: Comparaison entre les paramètres PHY des deux normes IEEE802.11p et 802.....	24
Tab III.03: Les fonctions d'accès au canal dans la norme IEEE 802.11.....	25
Tab IV.1. Paramètres de simulation.....	49



Liste des Acronymes

AC Access Categories.

AETATD Association of Electronic Technology for Automobile Traffic and Driving.

AIFS Arbitration inter-frame spacing.

AODV Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing.

BSS Basic Service Set.

CCH Control Channel.

CGSR Cluster-head Gateway Switch Routing

CSMA/CA Carrier Sense Multiple Access / with Collision Avoidance.

CW Contention Window.

DCF Distributed Coordination Function.

DIFS DCF Interframe Space.

DSDV Dynamic destination-Sequenced Distance Vector.

DSR Dynamic Source Routing.

DSRC Dedicated Short Range Communications.

EDCA Enhanced Distributed Channel Access

EDACF EDCA functions.

ESS Expanded Service Set.

FSR Fish-eye State Routing.

GLS Grid Location Service.

GRP Gateway Routing Protocol.

GPS Global Positioning System.

GPSR Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks.

HCCA Hybrid Controlled Channel Access.

IBSS Independent Basic Service Set

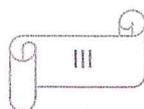
ICS Industrial control systems.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.

LAR Location-Aided Routing.

MAC Media access control.

MANET Mobile Ad-hoc NETWORKs.



Liste des Acronymes

MPR MultiPoint Relays.

NS2 The Network Simulator version 2.

NTIC Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

OLSR Optimized Link State Routing Protocol.

OMNET Operation and Maintenance New Equipment Training

OPNET Optimized Network Engineering Tool

PCF Point Coordination Function.

PMV Panneaux à Messages Variables.

QoS Quality of Service.

RERR Routing Error.

RREP Routing Reply.

RREQ Routing Request.

RSU Road Side Unit.

SCH service channel.

SIFS Short Interframe Space.

SSID Service Set Identifier.

SSR Signal Stability Routing

STA STAtion.

STI Intelligent Transportation Systems.

TORA Temporaly Ordered Routing Algorithm

V2I Vehicle-to- infrastructure communications.

V2V Vehicle-to-vehicle communications.

VANET Vehicular Ad-Hoc Network.

WAVE Wireless Access in Vehicular Environments.

WLAN Wireless Local Area Network.

WSMP WAVE Short Message Protocol.

WSN Wireless Sensor Networks.

Introduction générale

Introduction Générale

De nos jours, la voiture prend de plus en plus de place dans notre vie mais reste cependant le moyen de transport le moins sûr. Même si les technologies ont fait d'énormes progrès ces dernières années, aucun système de communication entre véhicules n'a encore été introduit pour diminuer le risque d'accident. Les résultats de l'enquête menée par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) en 2008, sur la prévention des accidents de la circulation, ont révélé que les accidents de route provoquent chaque année plus de 1,2 million de décès et entre 20 à 50 millions de traumatismes non mortels. Un problème encore très important est celui de la circulation en voiture qui est devenue dans certaines villes une épreuve quotidienne à cause des embouteillages.

Aujourd'hui, la recherche dans ce domaine est devenue très active et les constructeurs automobiles pensent à intégrer des systèmes de communication sans fils dans les véhicules.

Récemment, plusieurs standards de communication VANET et protocoles de routage ont été développés pour maintenir une communication efficace et fiable entre les noeuds du réseau, comme le DSRC (Communications à Court Terme Dédiée) et le WAVE / IEEE802.1p. Cependant, des défis majeurs ont besoin d'être abordés pour offrir une communication de hautes qualités dans des environnements quelque fois hostiles à la communication (obstacle, atténuation, réflexion). Par ailleurs, les caractéristiques des VANETs (la mobilité des noeuds, la taille du réseau, la densité du trafic), peuvent affecter considérablement les performances du réseau, et donc des questions importantes se posent quant à la faisabilité de ces modèles et protocoles, et sur ses capacités d'apporter une certaine qualité de service pour les trafics prioritaires par rapport aux autres.

L'objectif de ce projet consiste à étudier et évaluer les performances des réseaux VANETs afin de montrer que l'EDCF proposé par l'IEEE 802.11p offre un moyen très efficace pour apporter des services prioritaires, voir l'impact de la vitesse sur les performances de ce réseau, et déterminer le protocole de routage qui offre une meilleure performance parmi les protocoles AODV, DSR, et OLSR. Nous nous sommes intéressés en premier lieu au mécanisme d'accès EDCF (*Enhanced Distributed Coordination Function*) qui garantit la qualité de service des applications prioritaires. Nous avons aussi étudié son comportement en fonction des vitesses de déplacements. Ensuite, Nous avons effectué une comparaison entre le standard IEEE 802.11a et IEEE 802.11p, et une comparaison entre les trois protocoles de

routage AODV, DSR et OLSR considérant IEEE 802.11p. L'analyse se fait en terme de débit moyen, taux de perte de paquets, délai moyen de bout en bout, et à l'aide du simulateur réseau OPNET. Cette étude est organisée comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous présentons les Systèmes de Transport Intelligents qui font partie du projet *smart cities*, ses composantes et ses applications.
- Nous abordons dans le deuxième chapitre, les réseaux véhiculaires VANETs en mettant l'accent sur le mode de communication, les caractéristiques, et les différentes applications dont l'objectif est de répondre aux défis imposés par la nature de ces réseaux.
- Le troisième chapitre présente une vue d'ensemble sur le standard WAVE /IEEE802.11p de communication VANETs, la qualité de service et le mécanisme EDCF .
- Le quatrième chapitre est consacré à la description des différents protocoles de routage dans Ad Hoc et VANET, ensuite nous présentons les études préliminaires sur le routage et qualité de service.
- Le but du cinquième chapitre est premièrement, de présenter l'outil utilisé pour simuler notre étude, et d'expliquer, ensuite, en détails les scénarios de simulation, et enfin d'analyser et interpréter les résultats obtenus.

Chapitre I :

Généralité sur les véhicules intelligents

Chapitre I : Généralité sur les véhicules intelligents

I.1. Introduction

Ces dernières décennies nous assistons de plus en plus à l'utilisation de l'expression des systèmes intelligents dans les domaines qui s'appuient sur la technologie informatique. Elle devient courante au fur et à mesure que les techniques informatiques s'intéressent aux activités humaines.

Dans ce chapitre, Nous introduisons le concept des villes et véhicules intelligents, ainsi que les systèmes de transport intelligent, leur état de développement actuel et leurs applications.

I.2. Ville intelligente

I.2.1. Définition

Les villes intelligentes (en anglais : Smart city) sont des zones où l'innovation est soutenue par les réseaux et applications numériques. Les villes intelligentes sont souvent appelées villes durables, numériques ou connectées. Le but de convertir une ville en un environnement intelligent est d'atténuer les problèmes résultants de l'urbanisation et la croissance de la population urbaine. Une ville intelligente est une zone urbaine qui fournit les conditions pour une croissance économique durable et une bonne qualité de vie. Les solutions intelligentes, comme la réduction de la congestion du trafic routier, Les bâtiments écologiques, et les systèmes de contrôle industriel modernes (ICS), sont quelques-unes des technologies qui peuvent rendre l'urbanisation actuelle durable [1].

Une ville intelligente implique l'utilisation intelligente de la technologie pour améliorer la façon de vivre des gens, leur façon de travailler, de se déplacer et de partager les informations. Un aspect clé d'une ville intelligente est la prochaine génération des véhicules qui intègrent de nouvelles capacités de détection et de communication en tant que partie du concept large d'Internet des objets.

En fournissant des services de détection et de communication sans fil mobiles, les véhicules peuvent faciliter l'accès aux données, qui est essentiel pour que les villes intelligentes soient une réalité.

I.2.2. Transport intelligent

Toute ville peut profiter des avantages du réseau de capteurs, d'Internet des objets (Internet

of Things), et d'autres technologies en fonction de leurs besoins et de la situation de la circulation. Ainsi, chaque ville peut changer le système de transport traditionnel et établir un système intelligent de gestion du trafic, y compris le système de contrôle adaptatif de feux de signalisation, le système de contrôle de la circulation urbaine etc... [2].

Le système intelligent de gestion du trafic peut réaliser l'intégration de l'urbanisme, de la gestion des opérations, et fournir un soutien complet pour d'autres sous-systèmes du système urbain intelligent.

I.2.3. Véhicules intelligents

Avec l'introduction de la technologie de WLAN (LAN sans fil) telle que la norme IEEE 802.11 ces dernières années, beaucoup d'applications intéressantes deviennent maintenant de plus en plus réalisables, parmi ces applications les véhicules intelligents (Smart Car) ou véhicules autonomes. Dans ce type d'application l'utilisateur s'assoit dans le siège arrière et spécifie juste sa destination. Le véhicule prend le contrôle et amène l'utilisateur à sa destination spécifique. Ainsi le véhicule se rend compte de son voisinage, de la présence et de la localisation des autres véhicules, ce qui représente une évolution importante dans l'industrie automobile [2].

Dans les prochaines années, les véhicules seront équipés de cartes multi-interfaces, ainsi que de capteurs, à bord et à l'extérieur. Avec un nombre croissant de véhicules équipés de dispositifs sans fil embarqués (Ex., UMTS, IEEE 802.11p, Bluetooth, etc.) et des capteurs (Ex., Radar, Ladar (Laser Detection And Ranging), etc.), des applications de transport et de gestion efficaces se concentrent sur l'optimisation des flux des véhicules en réduisant le temps de déplacement et en évitant les congestions de trafic. À titre d'exemple, le radar à bord du véhicule pourrait être utilisé pour détecter les congestions de trafic et ralentir automatiquement le véhicule. Dans d'autres systèmes d'alerte d'accident, les capteurs sont utilisés pour déterminer qu'un accident s'est produit lors du déclenchement de l'airbag ; Cette information est ensuite transmise (dans les 10 prochaines secondes) au centre de secours le plus proche via d'autres véhicules ou à travers les infrastructures préinstallées au bord de la route [3].

I.3. Systèmes intelligents de transport

I.3.1. Définition

Les systèmes intelligents de transport (STI) (en anglais, Intelligent Transportation Systems (ITS)) décrit la technologie appliquée aux véhicules ainsi que l'infrastructure pour

transférer les informations entre elles et améliorer la sécurité, la productivité et minimiser la congestion du trafic. Cela inclut les applications impliquant des communications véhicule à véhicule (V2V) ainsi que des communications de véhicules vers des infrastructures (V2I) telles que les systèmes de gestion du trafic. Les systèmes intelligents de transport (ITS) sont des applications avancées pour fournir des services innovants liés aux transports et à la gestion du trafic et permettent aux utilisateurs d'être mieux informés et d'une utilisation plus sûre, coordonnée et plus intelligente des réseaux de transport [4].

Dans les systèmes de transports intelligents, chaque véhicule prend le rôle d'un émetteur, récepteur, et/ou routeur pour envoyer l'information vers ce qu'on appelle l'agence du contrôle routier, qui utilise alors ces informations pour assurer une bonne circulation routière et prévenir les risques d'accidents. Pour assurer une bonne communication entre les véhicules et les unités de bord de la route (RSU, Road Side Unit), les véhicules doivent être équipés d'une sorte d'ordinateur de bord avec une interface radio sans fil (WIFI). Les véhicules doivent être également équipés d'un matériel qui permet de fournir leur position exacte comme le GPS. Les unités de bord de route (RSU) sont des antennes reliées à l'infrastructure de base pour assurer la connexion du réseau VANET aux autres réseaux de base comme internet.

Le mode de communication infrastructure offre une meilleure connectivité et permet l'accès à divers services (internet, information météorologique ...). Toutefois, le déploiement des entités fixes le long des routes est très coûteux ; d'où la combinaison des deux modes de communications dans les réseaux VANET (Véhicular Ad-Hoc Network) [5], ces deux derniers seront détaillés dans le prochain chapitre.

I.3.2. Les technologies actuelles au service des STIs

Le terme STI englobe tout type de systèmes de transports (routier, ferroviaire, naval, aérien, etc.) dans lequel les technologies de l'information et de la communication (NTICs) sont utilisées dans le but d'améliorer leurs performances. Les STIs promettent de fournir aux usagers de la route divers services de communications augmentant ainsi leur attrait envers les communautés de chercheurs et les industries automobiles. Les gouvernements et les organismes de standardisation montrent aussi un grand intérêt envers ce type de réseaux en dédiant exclusivement un ensemble de bandes de fréquences à l'usage des systèmes de transports intelligents, subventionnant des projets proposant des standards [6].

Les technologies qui peuvent être utilisées sont diverses ; elles peuvent aller des systèmes de communication sans fil pour gérer les bornes de péages électroniques ou les systèmes de navigation intégrés, à la reconnaissance des plaques d'immatriculation en utilisant des

caméras vidéo. Parmi les technologies actuelles utilisées dans les STIs, nous citons quelques-unes :

I.3.2.1 Panneaux d'informations

Sur les routes principales des grandes agglomérations, nous voyons de plus en plus de panneaux à message variable (PMVs) diffuser des renseignements en temps réel. Ces panneaux font aujourd'hui partie intégrante de notre environnement lors de nos déplacements. Ils sont même devenus incontournables dans l'amélioration de la gestion du trafic et de la sécurité routière : les PMV constituent en effet un support important de l'information routière. Ils sont l'élément de communication entre le gestionnaire et les usagers de la route. Par exemple, les PMV peuvent permettre d'informer les usagers de leur temps de parcours ou d'un accident ayant eu lieu en aval [89].

I.3.2.2 Communication par satellite

Depuis quelques années, les techniques de communications longues-distances par le biais des satellites sont utilisées pour des connexions Internet à haut débit. Ils sont surtout très utilisés par des utilisateurs très isolés qui ne peuvent pas être connectés à Internet (par exemple, via ADSL, les réseaux téléphonique ou de la fibre optique) [6].

L'application des communications par satellites aux réseaux VANETs est à l'étude. Ce type de communications exige que chaque véhicule soit en mesure de transmettre et de recevoir des données relayées par les satellites. Ceci suppose que chaque véhicule soit équipé d'un moyen de communication adéquat.

I.3.2.3 Communications courtes-distances sans fil

La connexion réseaux de type V2V (véhicule à véhicule) doit être établie et authentifiée très rapidement dans les applications STI, spécialement quand il s'agit d'alerter d'un danger ou de conduite coopérative (où la variation de vitesse et le freinage doivent être signalés rapidement à tous les véhicules du convoi) [6]. Plusieurs techniques sans fil actuelles au niveau de la couche physique et de la couche de contrôle d'accès au canal (MAC) ne répondent pas aux exigences des vitesses élevées des véhicules.

I.3.3. Les applications des STIs

Les Systèmes de Transport Intelligents (STI) désignent les applications des technologies de l'information et de la communication au service des transports. Les STI interviennent dans plusieurs champs d'application : L'optimisation de l'utilisation des infrastructures de transport, l'amélioration de la sécurité etc. Les STI s'intègrent également dans un contexte de développement durable, ils permettent de maîtriser la mobilité en

favorisant les alternatives à la voiture vers des modes plus respectueux de l'environnement. Les applications STIs se décomposent en trois grandes catégories :

I.3.3.1 Sécurité des usagers

Les applications de sécurité des usagers sont le besoin primaire des STIs. La sécurité routière concerne l'ensemble des connaissances, dispositifs et mesures visant à éviter les accidents de la route ou à atténuer ses conséquences. Les STI peuvent contribuer directement ou indirectement à la sécurité routière, rendre le transport plus sûr et plus sécuritaire, développer les systèmes de surveillance et d'alerte "bord de voie" qui permettent d'alerter les usagers de la route d'une difficulté de conduite, maximiser sa capacité à contrôler et à réduire les impacts des désastres, tant naturels que d'origine humaine. Nous citons comme exemple les applications de planification contribuant à la réduction des délais d'intervention des services d'urgence, et à la création d'itinéraires d'évacuation en cas de désastre et à l'établissement de la priorité d'accès à ceux-ci. Ils peuvent favoriser une réduction durable du nombre d'accidents et de leurs gravités en signalant les conditions et les situations dangereuses aux voyageurs, en intervenant dans la tâche de conduite. D'autres dispositifs permettent de protéger directement les usagers (protection des usagers) [8].

I.3.3.2 Gestion du trafic

La congestion constitue un problème majeur pour tous les réseaux de transport, et l'augmentation de l'efficacité des systèmes de transport existants est l'un des principaux objectifs des programmes de STI partout dans le monde. Les stratégies pour réduire la congestion sont : mettre en place des systèmes de surveillances, de contrôles, dotant les réseaux d'instruments qui permettront d'améliorer leur exploitation en temps réel, en gérant la demande par la diffusion d'information juste à temps, et en encourageant la mobilité hors des heures de pointe ou l'utilisation d'autres modes de transport. Parmi les services de STI pertinents, mentionnons les suivants [8] :

- Outils de gestion du trafic permettant d'assurer l'efficacité maximale du réseau routier, notamment (surveillance des conditions de trafic actuelles , prévision et coordination des feux de circulation réactive aux conditions de circulation, détection et gestion des incidents survenant sur le réseau routier; vidéos surveillance des points chauds de congestion.
- Systèmes de paiement électronique, de contrôle d'accès et de contrôle du respect de la réglementation, notamment : tarification des routes, y compris le péage électronique et le péage de congestion ; reconnaissance des véhicules et systèmes de limite de vitesse.

I.3.3.3 Amélioration du confort de la conduite

Ce type d'applications permet d'améliorer le confort des usagers de la route pour mieux tirer profit de l'habitacle des véhicules, de prévenir la fatigue des conducteurs, etc. Plusieurs exemples sont listés ci-dessous [6] :

- Amélioration de la visibilité.
- Localisation de place de stationnement.
- Amélioration du guidage et de navigation.
- Téléchargement des cartes/ mise à jour /correction GPS.
- Amélioration coopérative de position.
- Messagerie instantanée entre les véhicules.
- Notification des points d'intérêts
- Accès mobile aux données des véhicules.[8]

I.4. Conclusion

Au regard de ce qui a été développé dans les paragraphes précédents de ce chapitre, nous avons fait un résumé succinct sur le concept des villes intelligentes.

Dans ce chapitre, nous avons mis en avant aussi l'intérêt de convertir une ville en un environnement intelligent ainsi que les différentes applications des systèmes de transport intelligent.

Le chapitre suivant sera donc consacré aux réseaux mobiles AD-HOC et les réseaux véhiculaires ADHOC.

Résumé

Dans ce travail, nous fournissons en premier lieu une évaluation en performance du mécanisme d'accès IEEE 802.11p EDCF, en termes de délai moyen de bout en bout, en analysant son comportement à savoir les vitesses de déplacement. Pour la simulation de notre étude nous avons utilisé le simulateur réseaux OPNET pour créer les scénarios du trafic, et évaluer l'IEEE 802.11p dans l'environnement que nous avons créé et le comparer avec la norme IEEE 802.11a. Enfin, nous comparons les performances de trois protocoles de routage AODV et DSR et OLSR dans le cadre du MAC IEEE 802.11p, en analysant les trois métriques de performance le délai moyen de bout en bout, le débit moyen, la perte de donnée.

Abstract

In this project, we have evaluated the performance of the EDCF access mechanism that is incorporated in the existing IEEE 802.11p standard using the following performance metrics: end-to-end delay, analyzing its behavior about the increasing speeds. As part of our study, the OPNET simulation tool has been used to create the various simulation scenarios. We have compared the performance of IEEE 802.11p against the original standard IEEE 802.11a. Moreover, we have compared the performance of three well-known existing routing protocols including AODV and DSR and OLSR within the framework of the IEEE 802.11p average end to end delay, average throughput, average packet loss.

ملخص

يتمحور عملنا في هذه المذكرة، حول تقييم الاتصال في شبكة VANET بشكل عام، ولهذا فقد تم تقسيم الدراسة إلى 3 أقسام: أولاً، قمنا بدراسة وتقييم Enhanced Distributed Coordination Function (EDCF) وهي آلية تسمح بتنسيق إرسال المعلومات مع إعطاء نوع من الأفضلية لبعض البيانات دون الآخر، لقد تم دراستها بالنسبة لسرعة تحرك هذه العقد. ثانياً، قمنا باستعمال أداة ال OPNET من أجل إنجاز سيناريوهات الحركة في بيئة التي قمنا بإنجازها من أجل معرفة قدرات VANET في الواقع. وأخيراً قمنا بالمقارنة بين ثلاثة البروتوكولات AODV و DSR و OLSR في إطار IEEE 802.11p المستعمل في VANET و هذه التقييمات كانت من حيث التدفق Average Throughput، Average Delay التأخر packet loss خسارة العقد.

Mots clés / Keywords / الكلمات المفتاحية

VANET (Vehicle Adhoc Network), WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments), IEEE802.11p, DSRC (Dedicated Short Range Communications), EDCF, V2V, OPNET, Protocoles de routage Ad-Hoc, AODV, DSR, OLSR

Chapitre II :
Les Réseaux Ad Hoc de
véhicules

Chapitre II :

Les Réseaux Ad-Hoc de véhicules

II.1 Introduction

Les réseaux VANET ne sont qu'une application des réseaux ad hoc mobiles (MANET). Ils constituent le noyau d'un Système de Transport Intelligent (STI) ayant comme objectif principal l'amélioration de la sécurité routière en tirant profit de l'émergence de la technologie de communication et la baisse du coût des dispositifs sans-fil. En effet, grâce à des capteurs installés au sein de véhicules, ou bien situés au bord des routes et des centres de contrôle, les communications véhiculaires permettront aux conducteurs d'être avertis suffisamment tôt de dangers éventuels.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les réseaux MANET de manière générale, puis, nous abordons aux réseaux VANET, ses composants, les modes de communication existants, leurs caractéristiques, ainsi que ses applications.

II.2 Les réseaux mobiles Ad-Hoc (MANET)

Un réseau mobile ad hoc (MANET) est un système autonome de nœuds mobiles reliés par des liens sans fil dont l'union forme un graphe arbitraire. Les nœuds du réseau jouent le rôle de routeurs et sont libres de se déplacer aléatoirement et de s'organiser arbitrairement. En conséquence, la topologie du réseau peut changer rapidement et de manière imprévisible. Un tel réseau ne nécessite pas d'infrastructure fixe et représente une option attractive pour connecter spontanément des terminaux mobiles. Quelque soit l'application visée, un réseau MANET possède des exigences spécifiques en terme de sécurité, du fait de ses particularités: liens sans fil, contraintes d'énergie, limitation de la bande passante et de la puissance de calcul, non connectivité permanente d'un nœud avec les autres nœuds [9].

II.3 les réseaux VANET (Véhicular Ad hoc NETWORK)

II.3.1 définition

Un réseau VANET est une particularité des réseaux MANET où les nœuds mobiles sont des véhicules (intelligents) équipés de calculateurs, de cartes réseau et de capteurs. Comme tout autre réseau Ad hoc, les véhicules peuvent communiquer entre eux (pour échanger les informations sur le trafic par exemple) ou avec des stations de base placées tout au long des routes (pour demander des informations ou accéder à internet...)[10]. Le but optimal est que les réseaux VANETs contribueront à l'élaboration de routes plus sûres et plus efficaces à

l'avenir en fournissant des informations opportunes aux conducteurs et aux autorités intéressées. Un exemple de réseau VANET urbain est illustré dans la figure II.1.

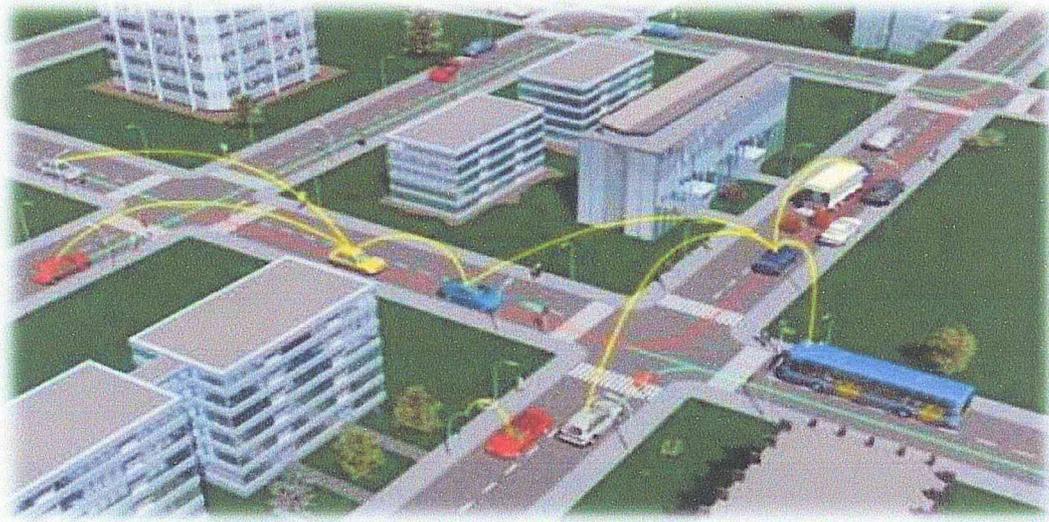


Figure II.1. Réseau VANET [68].

Le tableau II.1 présente une synthèse des principales différences entre VANET et MANET:

	MANET	VANET
Nombre de nœuds	Habituellement de 100 à 1000	Sans limite, peut être égale à des millions de véhicules
Mobilité	Faible ou moyenne (Vitesse de marche)	Haute (jusqu'à 200km/h)
Trajectoire de nœuds	Aléatoire	Déterministe (réseau routier)
Distribution de nœuds	Aléatoire et régulière	Peu dense et irrégulière
Fiabilité	Moyenne	Très élevé
La durée de vie des nœuds (énergie)	Limitée par la vie des batteries dans les nœuds	Illimitée (vie de véhicule)

Tableau II.1. Comparaison entre MANET et VANET [70].

II.3.2. Historique

D'un point de vue historique, les premiers travaux dédiés aux applications des VANETs ont commencé dans les années 80 au Japon avec l'AETATD (Association of Electronic Technology for Automobile Traffic and Driving) suite à l'accroissement des problèmes liés

aux déplacements des personnes et des biens. Ces travaux ont initié l'exploration de diverses applications (ex. conduite automatique et coopérative) associées à la circulation routière [13].

Plus tard, d'autres projets ont été initiés aux États-Unis et en Europe. La motivation première de ces projets a toujours été l'amélioration de la sécurité routière et la diminution du nombre de morts sur les routes. Ce n'est que plus tard que les applications de type commercial sont venues s'ajouter à l'équation. La recherche sur ces réseaux n'a vraiment commencé à croître qu'au début des années 2000, avec la création de projets tels que «CarTalk 2000» en Europe, «Advance Safety Vehicle 3» au Japon, et «Vehicle Safety Communication» aux États-Unis [12].

Par la suite, une organisation à but non lucratif nommé : « le consortium de communication Car2Car » a été lancée par six constructeurs automobile européens et ouverte aux fournisseurs, aux organismes de recherches et d'autres partenaires. Cette organisation a comme principal objectif l'amélioration de la sécurité routière et une gestion efficace du trafic et comme principales missions la création d'un standard européen ouvert pour les communications V2V (Vehicle-to-Vehicle) basé sur des composants LAN sans fil d'une part, mais aussi de développer des prototypes et des démonstrateurs des systèmes V2V pour les applications de sécurités routières d'autres part [14].

En 2009, l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), a publié le standard 802.11p qui définit l'accès sans fil dans les réseaux véhiculaires mobiles (Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE)).

Très vite, les chercheurs se sont intéressés à un nouveau type d'adressage et de routage des paquets de données. Plutôt que d'utiliser la méthode IP, il a été mis en place une méthode géographique appelée GeoCast, basée sur les standards DSRC et IEEE 802.11, pour fournir une communication multi-sauts sans fil, et cela, sans l'aide d'infrastructure GeoCast permettant ainsi d'étendre les communications de courte portée, fournie par DSRC, à des communications multi-sauts. Le routage GeoCast a d'abord été conçu pour les MANETs, mais a très vite été étendu à d'autres réseaux tels que les VANETs, les réseaux de senseurs sans fil, Wireless Sensor Networks (WSN), ou les réseaux maillés (Mesh Networks). Ce type d'adressage est en effet bien adapté aux réseaux mobiles dynamiques, ayant des changements de topologies fréquents, avec ou sans infrastructure, et supportant des connexions intermittentes [12].

II.3.3. Les composants des VANETs

II.3.3.1. TA (Trusted Authority)

C'est une source d'authenticité de l'information. Elle assure la gestion et l'enregistrement de toutes les entités sur le réseau (RSU et OBU). La TA est sensée connaître toutes les vraies identités des véhicules et au besoin les divulguer pour les forces de l'ordre. Aussi, la TA dans certains travaux se charge de la délivrance et l'attribution des certificats et des pseudonymes de communications [16].

II.3.3.2. Station de bord de la route (RSU, Roadside Unit)

Ces entités sont les subordonnés des TA. Elles sont installées au bord des routes. Elles peuvent être principalement, des feux de signalisation, des lampadaires ou autres. Leur principale responsabilité est de soutenir la TA dans la gestion du trafic et des véhicules. Elles représentent des points d'accès au réseau et aux différentes informations sur la circulation [17].

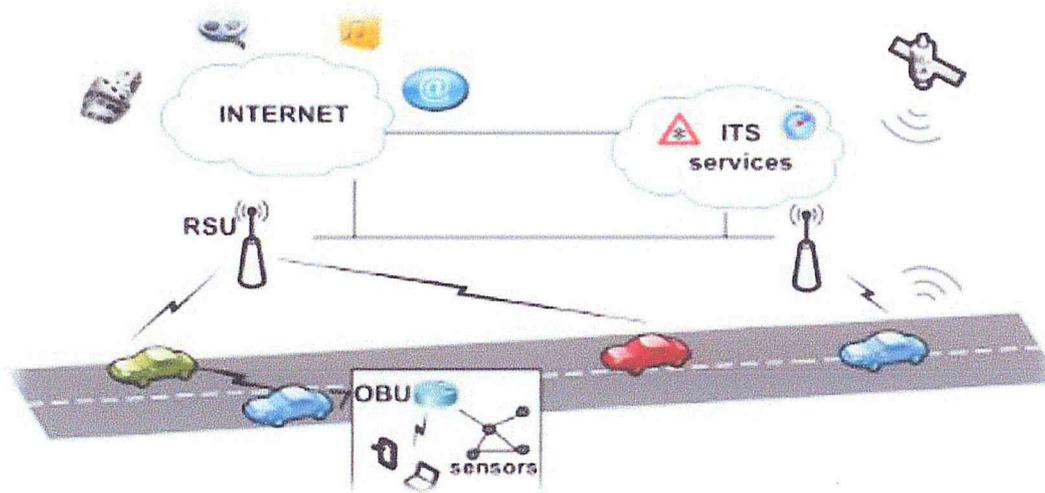


Figure II.3: Mode de communication et composants VANETs [18].

II.3.3.3. Les unités embarquées (OBU, On Board Unit)

Ce sont des unités embarquées dans les véhicules intelligents, elles regroupent un ensemble de composants matériels et logiciels de hautes technologies (GPS, radar, caméras, différents capteurs et autres). Leurs rôles sont d'assurer la localisation, la réception, le calcul,

le stockage et l'envoi des données sur le réseau. Ce sont des émetteurs-récepteurs qui assurent la connexion du véhicule au réseau [17]. La figure II.2 illustre un véhicule intelligent [15].

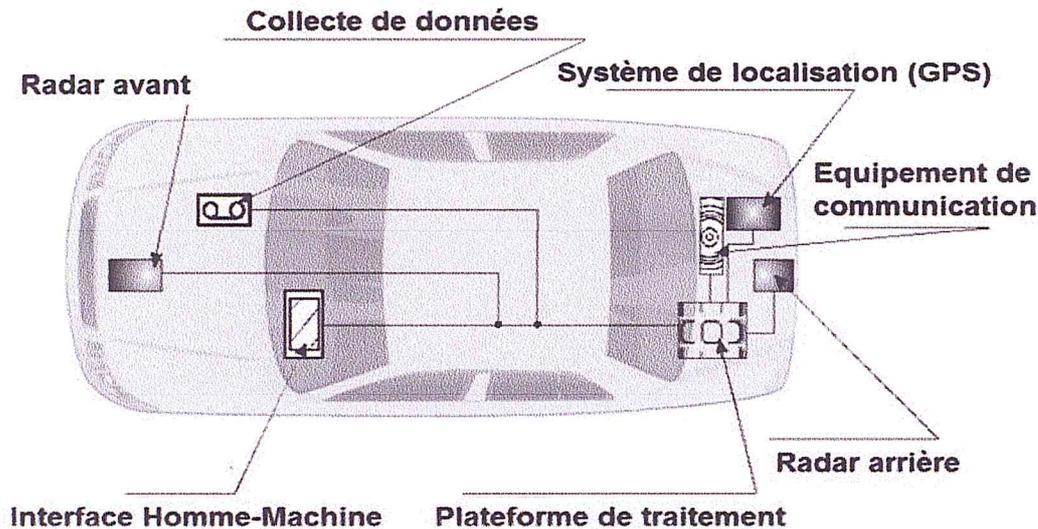


Figure II.2: Exemple sur les différents terminaux d'un véhicule intelligent.

II.3.4. Les modes de communication dans les réseaux VANETs

Les réseaux véhiculaires sont la base des échanges pour les systèmes de transport intelligent. Du point de vue architectural, on peut distinguer deux modes de communications: les communications Véhicule-à-Véhicule (V2V) et les communications Véhicule-à-Infrastructure (V2I).

Les véhicules peuvent utiliser un de ces deux modes ou bien les deux modes combinés. Les nœuds peuvent éventuellement servir de passerelles vers d'autres réseaux et services. Dans cette partie, nous présentons le principe et l'utilité de chaque mode :

II.3.4. 1. Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V)

Ce mode de communication fonctionne suivant une architecture décentralisée, et représente un cas particulier des réseaux ad hoc mobiles, Il est basé sur la simple communication inter-véhicules ne nécessitant pas une infrastructure. En effet, un véhicule peut communiquer directement avec un autre véhicule s'il se situe dans sa zone radio, ou bien par le biais d'un protocole multi-sauts qui se charge de transmettre les messages de bout en bout en utilisant les nœuds voisins qui les séparent comme des relais. Dans ce mode, les supports de communication utilisés sont caractérisés par une petite latence et un grand débit de transmission [18] [19].

Les communications V2V sont très efficaces pour le transfert des informations concernant les services liés à la sécurité routière, mais elles ne garantissent pas une connectivité permanente entre les véhicules.

II.3.4. 2. Mode de communication de Véhicule à 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 RSU (Road Side Units) déployés aux bords des routes [21].

II.3.4. 3. Mode de Communications hybrides

La combinaison de ces deux types de communications permet d'obtenir une communication hybride très intéressante (figure II.4). En effet, les portées des infrastructures étant limitées, l'utilisation des véhicules comme relais permet d'étendre cette distance. Dans un but économique et en évitant de multiplier les bornes à chaque coin de rue, l'utilisation de sauts par véhicules intermédiaires prend toute son importance [22].

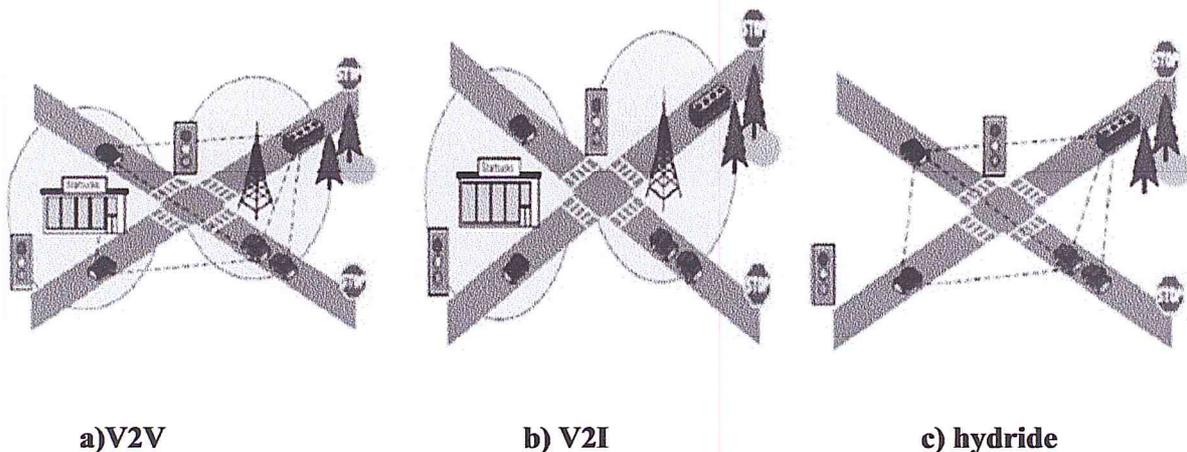


Figure II.4: Types de communication dans un réseau de véhicules [20].

II.3.5. Environnement des VANET

Contrairement aux autres réseaux ad hoc à environnement fixe se résumant à un espace ouvert ou clos sans obstacles, l'environnement des réseaux VANET change (urbain, périurbain, autoroutier, montagnard...). La mobilité, les changements d'environnement, les

conditions climatiques et les contraintes topologiques d'un environnement posent un problème à prendre en considération pour la connectivité et la stabilité des signaux.

II.3.5.1. Environnement urbain

Un environnement urbain est caractérisé par la présence d'un nombre important d'obstacles à la propagation des signaux radioélectriques (à cause de la forte présence de constructions), une forte densité de véhicules se déplaçant avec une vitesse moyenne de 50 km/h et d'une infrastructure routière formée d'intersection, de panneaux de signalisation...

II.3.5.2. Environnement rural

L'environnement rural est caractérisé par: Un nombre d'obstacles moins importants qu'en milieu urbain ce qui facilite la propagation des signaux radioélectriques, Une faible densité de véhicules ce qui engendre un nombre important de déconnexions, donc la couverture réseau total de l'environnement rural est non envisageable [24].

II.3.5.3. Environnement autoroutier

Dans l'environnement autoroutier la vitesse des véhicules est généralement supérieure à 100 km/h (forte mobilité des nœuds), une présence négligeable d'obstacles donc moins de perturbations pour la propagation des ondes radio, et la moindre erreur peut provoquer en une fraction de seconde un accident mortel [25].

II.3.6. Les caractéristiques des VANETs

Bien que les réseaux VANETs dérivent des réseaux Ad hoc mobiles, ils se distinguent avec certaines caractéristiques, qui retiennent une grande attention, à savoir :

II.3.6.1. La capacité d'énergie et stockage

Contrairement au contexte des réseaux MANET où la contrainte d'énergie représente un défi pour les chercheurs, les éléments du réseau VANET disposent suffisamment d'énergie [26] qui peut alimenter les différents équipements électroniques d'une voiture intelligente. Donc, les nœuds sont censés avoir une grande capacité de traitement et de stockage de données.

II.3.6.2. La topologie et la connectivité

Comme les réseaux ad hoc mobiles, les réseaux VANET sont caractérisés par une

connectivité sporadique, car un véhicule (nœud) peut rejoindre ou quitter un groupe de véhicules en un temps très court, ce qui nous mène ainsi à avoir une topologie très dynamique constituée de plusieurs îlots séparés [26].

II.3.6.3. Le modèle de mobilité

Plusieurs facteurs peuvent affecter la mobilité dans ces réseaux comme les infrastructures routières; par exemple : route, autoroute, panneaux de signalisation [27]. En outre, la mobilité dans les VANETs est liée directement au comportement des conducteurs et leurs réactions face à des obstacles ou des situations différentes et complexes rencontrées; par exemple: les heures d'embouteillage, les accidents,... etc.

II.3.6.4. La sécurité et l'anonymat

L'importance des informations échangées via les communications véhiculaires rend l'opération de sécurisation de ces réseaux cruciale qui constitue un pré-requis au déploiement des VANETs [28].

II.3.7. Applications

Les applications dans ce type de réseau sans très varié mais se classent principalement en trois catégories qui sont :

II.3.7.1. Applications pour la sécurité routière

La sécurité routière est devenue une priorité dans la plupart des pays développés, cette priorité est motivée par le nombre croissant d'accidents sur ses routes associé à un parc de véhicules de plus en plus important. Les VANET permettent de prévenir les collisions et les travaux sur les routes, de détecter les obstacles (fixes ou mobiles) et de distribuer les informations météorologiques par envoi de messages d'alerte. A titre d'exemple, alerter un conducteur en cas d'accidents permet d'avertir les véhicules qui se dirigent vers le lieu de l'accident que les conditions de circulations se trouvent modifiées et qu'il est nécessaire de redoubler de vigilance. Les messages d'alertes et de sécurité doivent être de taille réduite pour être transmis le plus rapidement possible et doivent être émis à des périodes régulières [29].

II.3.7.2. Applications pour les systèmes d'aide à la conduite et les véhicules coopératifs

Ce type d'application consiste à faciliter la conduite autonome et apporter un support au conducteur dans des situations particulières « aide aux dépassements de véhicules, prévention des sorties de voies en ligne ou en virage, etc. », en plus ces services contribuent à l'amélioration du trafic routier en fournissant des informations sur l'état des routes. Du

contenu des messages échangés par les différentes entités du réseau, un véhicule peut être informé de la circulation sur son trajet actuel ou futur. Le conducteur peut donc décider de suivre une autre route lorsque le trafic est dense sur son trajet et éviter ainsi de la congestion.

Les services de gestion du trafic routier permettent de créer le passage pour les voitures d'urgence, ou de proposer des itinéraires aux véhicules qui se dirigent dans une zone de congestion. Ils peuvent aussi aider les conducteurs à trouver des places de stationnements, et bien d'autres applications intelligentes [29].

II.3.7.3. Applications de confort du conducteur et des passagers

Les applications de confort sont développées principalement pour divertir les passagers, mais aussi à des fins publicitaires et d'information.

Les applications de divertissements permettent et/ou nécessitent un accès Internet. Cet accès peut être effectué à des points stratégiques, comme les stations essences, ou en remontant le réseau jusqu'à un RSU qui serait connecté. En plus de permettre la connexion Internet, il serait possible par exemple de télécharger du contenu payant, comme des jeux, de la musique ou des vidéos à ces points stratégiques et de pouvoir les partager ensuite sur le réseau. C'est donc l'accès à Internet, le partage et la messagerie inter-véhicule ou encore les jeux en réseau ou hors ligne, qui seraient permis sur le réseau.

Les applications publicitaires sont destinées aux commerciaux présents sur les bords des routes. Ainsi, les hôtels, restaurants, stations essences et autres commerces pourraient annoncer aux véhicules, dans un certain rayon autour de leur commerce, leur présence à proximité. Les utilisateurs pourraient ainsi, lorsque nécessaires, consulter le type de commerce présent autour d'eux et sélectionner celui correspondant à leurs besoins.

Ces applications peuvent aussi être informatives. Par exemple, on trouve des 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 un RSU [30].

II.4. Conclusion

Nous avons présenté dans cette deuxième partie du mémoire les réseaux véhiculaires Sans-fil VANETs qui ne sont qu'une particularité des réseaux MANETs ; nous avons également décrit leur historique, composants, comme nous avons aussi expliqué les deux modes de communications dans les réseaux VANET, leurs caractéristiques et les applications de ces réseaux.

Une des contraintes des réseaux MANET et VANET est le problème d'acheminement des données entre les noeuds mobiles du réseau. Dans le but d'assurer la connectivité du réseau, malgré l'absence d'infrastructure et le changement de la topologie, chaque noeud est susceptible d'être mis à contribution pour participer au routage et pour retransmettre les paquets d'un noeud qui n'est pas en mesure d'atteindre sa destination : chaque noeud joue ainsi le rôle de routeur.

Dans le chapitre suivant, nous allons voir le standard WAVE / IEEE802.11p (Wireless Access in Vehicular Environments) qui est une normalisation ou bien une pile protocolaire construite pour les communications à court terme dédiée DSRC, nous allons également définir la qualité de service affectés par la couche MAC.

Chapitre III :

Standards de communication dans les VANETs et la qualité de service

Chapitre III :

Standards de communication dans les VANETs et la qualité de service

III.1. Introduction

Pour mettre en place les différentes communications entre les entités du réseau VANET, diverses technologies ont été conçues, pour offrir les différents services et augmenter la portée des communications et des bandes passantes. Ainsi, une norme de communication appelée DSRC (Dedicated short Range Communication) a été adoptée, Sa couche physique est basée sur la norme IEEE 802.11a. Plus tard, l'IEEE s'inspira de cette norme pour créer la norme actuellement utilisée IEEE 802.11p. Cette norme définit essentiellement les services de sécurité et le format des messages.

Dans ce chapitre nous allons d'abord présenter les modèles et les standards existants pour les VANETs, nous présentons aussi la norme IEEE802.11p qui définit les deux sous couches MAC et PHY pour la communication V2V et V2I. Enfin, nous donnons un bref aperçu sur la qualité de service, et les métriques les plus importantes pour l'évaluation des performances d'un réseau véhiculaires sans fil.

III.2. Les communications dédiées à courte portée DSRC

DSRC (Dedicated Short Range Communication) est un standard regroupant un ensemble de technologies dédiées aux communications véhiculaires dont le but principal est de diminuer le nombre d'accidents sur la route.

La première génération des DSRC, définie dans la bande de fréquence des 915Mhz, a été créée à la base pour des opérations de télépéage (péage électronique de l'autoroute). Elle couvre une faible zone géographique, opère sur une largeur de bande de 12Mhz segmentée en deux canaux et offre un débit de 0.5Mb/s.

Les communications DSRC sont régies par la norme IEEE 802.11p. Ce protocole de communication ne repose pas sur les points d'accès, mais repose sur la communication directe entre les stations en formant un réseau ad hoc de véhicules (VANET). Bien qu'aucun point d'accès ne soit présent dans 802.11p, il peut y avoir des stations d'infrastructure fixes comme le feux de signalisation, offrant des services aux stations mobiles comme les Véhicules. Aux États-Unis, la FCC (Federal Communication Commission) a attribué 75 MHz de bande passante à 5,9 GHz pour les communications DSRC. En Europe, 30 MHz ont été réservés pour les communications des véhicules à 5,875-5,9090 GHz, exclusivement destinés aux applications de la sécurité routière. Les applications liées à la non-sécurité sont attribuées à

une bande de 20 MHz à 5,855 à 5,875 GHz. Au Japon, la fréquence allouée est de 5,8 GHz. Généralement, à 5,8 - 5,9 GHz.

Une version antérieure de DSRC (CEN-DSRC) est largement utilisée pour la collecte de péage électronique (une application V2I) aujourd'hui. Cependant, les applications V2V ne seront pas entièrement fonctionnelles jusqu'à ce qu'un pourcentage important de voitures sur la route soit équipé de systèmes DSRC. En 2014, l'Administration nationale de la sécurité routière (NHTSA) a annoncé son intention d'exiger la technologie V2V dans toutes les voitures et camions légers vendus aux États-Unis. Une date spécifique pour la mise en œuvre de cette exigence n'a pas encore été annoncée [32].

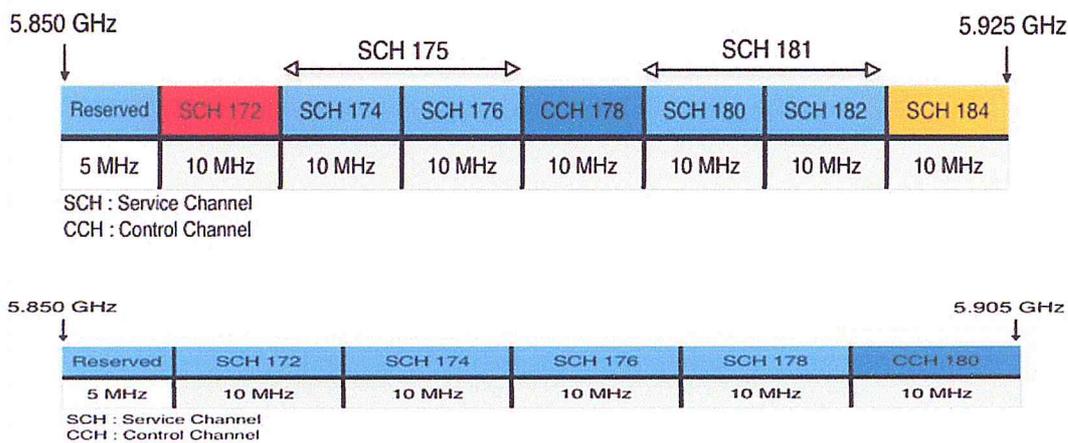


Figure III.1. Bandes allouées pour les VANETs aux États-Unis et en Europe.

III.3. Norme IEEE1609 pour l'accès sans fil dans les environnements de véhicules (WAVE)

WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) a son origine dans la normalisation de DSRC en tant que technologie de radio. WAVE est une norme internationale, qui définit l'architecture, l'ensemble de protocoles, et les services qui permettent collectivement la mise en place et la sécurité des communications sans fil véhicule-véhicule (V2V) et véhicule-infrastructure (V2I). Le principal objectif était de développer des applications et des services publics qui peuvent sauver des vies et améliorer les flux du trafic, bien que d'autres services commerciaux soient également autorisés [2].

La pile protocolaire de la technologie WAVE est représentée dans la Figure III.2, La couche physique (PHY) est définie par IEEE 802.11p. Le même protocole définit la couche de contrôle d'accès (MAC). IEEE 802.11p est une adaptation du protocole IEEE 802.11a aux

situations de véhicules, pour les environnements en évolution rapide [33]. Ce protocole sera détaillé plus loin dans ce chapitre.

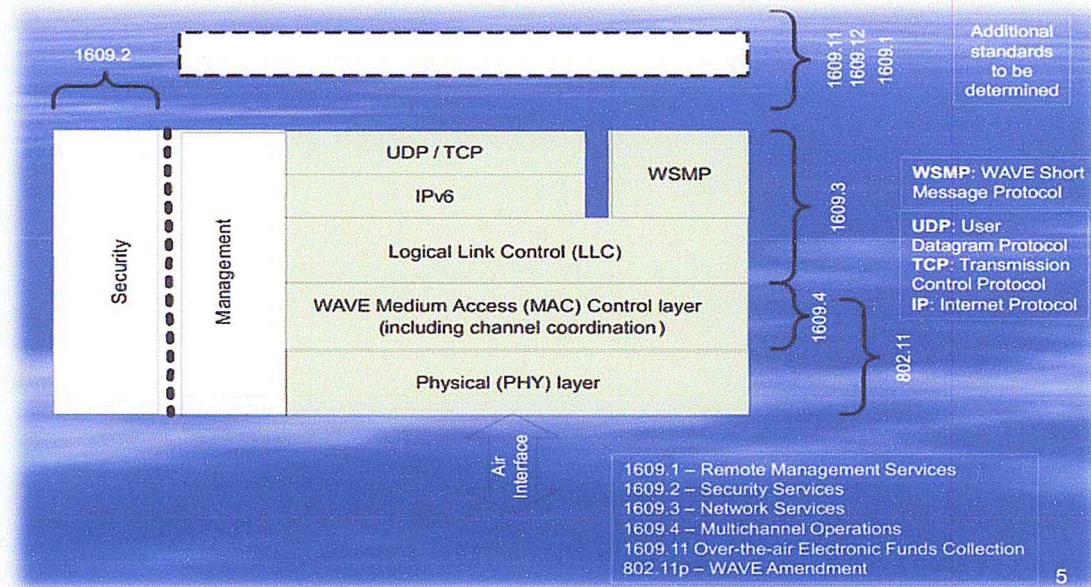


Figure III.2. Normes DSRC et la pile de communication [67].

Le protocole WAVE se base sur la famille de protocoles IEEE1609 pour opérer dans la bande DSRC. Cette pile protocolaire est formée de quatre standards en période d'essai et deux qui n'ont pas encore été publiés (identifiés par la lettre P) [36]:

(i) **IEEE P1609.0 (WAVE Architecture)**, ce standard décrit l'architecture WAVE et les services nécessaires pour que les équipements DSRC/WAVE puissent communiquer dans un environnement véhiculaire.

(ii) **IEEE 1609.1- 2006 (WAVE Resource Manager)**, ce standard est pour la gestion des ressources au niveau des trois couches supérieures du modèle ISO. Il décrit les services de gestion et de données offerts dans l'architecture WAVE. Il définit le format des messages de commandes et la réponse appropriée à ces derniers, formats de stockage des données utilisés par les applications pour communiquer entre les composantes de l'architecture, et le format des messages de statuts et de requête.

(iii) **IEEE 1609.2-2006 (WAVE Security Services for Applications and Management Messages)**, ce standard est pour la transmission et le traitement sécurisé des messages, au

niveau de la couche transport. Il définit aussi les circonstances de l'utilisation d'un échange sécurisé et comment ces messages doivent être traités selon le but de l'échange.

(iv) **IEEE 1609.3-2006** (WAVE Networking Services), définit les services de niveau de la couche réseau et transport incluant l'adressage et le routage pour le support d'échange de données sécurisé. Il définit aussi le Wave Short Messages (WSM), fournissant une alternative à IPV6 efficace spécifique à WAVE qui peut être directement supportée par les applications. En plus, ce standard définit la Management Information Base (MIB) pour la pile de protocole WAVE.

(v) **IEEE 1609.4- 2006** (WAVE Multi-Channel Operations), ce standard fournit une amélioration de la couche Medium Access Control (MAC) 802.11 afin de supporter les opérations de WAVE, la coordination et la gestion des sept canaux dans la bande DSRC et gestion des files d'attente et de l'ordre de priorité de l'accès au medium.

(vi) **IEEE P1609.11** (Over-the-Air Data Exchange Protocol for ITS), ce standard définit les services et le format de messages sécurisé pour le support du paiement électronique sécurisé.

III.4. La norme IEEE 802.11a

L'amendement 802.11a à la norme d'origine a été ratifié en 1999. Elle utilise les bases 802.11 comme base, et elle fonctionne dans la bande de 5GHz. La modulation est Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) lui permettre de transférer des données brutes à un débit maximal de 54 Mbps, bien qu'un niveau pratique plus réaliste soit dans la région de la région moyenne de 20 Mbps. Le débit de données peut être réduit à 48, 36, 24, 18, 12, 9 puis 6 Mbit/s si nécessaire. 802.11a comporte 12 canaux non chevauchants, 8 dédiés à l'intérieur et 4 à point à point [5].

PARAMÈTRE	VALEUR
Date d'approbation standard	Juillet 1999
Taux maximum de données (Mbps)	54
Taux de transmission de données typique (Mbps)	25
Modulation	OFDM
Bande RF (GHz)	5
Nombre de flux spatiaux	1
Largeur du canal (MHz)	20

Tableau III.01. Résumé des normes 802.11.

III.5. La norme IEEE 802.11p

La norme IEEE 802.11p est un amendement du standard IEEE802.11 que le groupe de travail IEEE (TGP, task group protocol) a commencé à développer en 2004 pour l'accès sans fil dans les systèmes de transport intelligents. Il définit les spécifications des couches MAC et PHY dans le cadre des réseaux véhiculaires [75].

III.5.1. la Couche PHY IEEE 802.11p

IEEE 802.11p est généralement une variante personnalisée de l'IEEE 802.11a couche PHY spécialement adaptée pour permettre un fonctionnement à faible charge dans le spectre DSRC. Il combine les parties de la norme d'origine avec l'amendement 802.11e MAC pour le support de QoS. Pour plus de détails, les auteurs de [77] présentent les concepts, les applications et les caractéristiques de performance derrière ces technologies utilisées pour les communications V2V.

La transmission de données est basée sur la technique OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). L'OFDM divise la bande disponible en K sous-bandes ou sous-porteuses, séparées par une bande passante de fréquence ΔF . L'OFDM utilise le spectre beaucoup plus efficacement que l'accès multiple par répartition en fréquence (FDMA) puisqu'il rend toutes les sous porteuses orthogonales les unes aux autres. De cette façon, il est possible d'avoir les sous-porteuses ensemble le plus près possible et d'éviter toute interférence entre elles.

Dans IEEE 802.11p, il y a 64 sous-porteuses, mais seules 52 sous-porteuses sont utilisées. 48 sur ces 52 contiennent effectivement les données et 4, appelées sous-porteuses pilotes, utilisé pour atténuer les décalages de fréquence et de phase du côté du récepteur. Chacune de ces 48 sous porteuses de données peut être modulée avec BPSK, QPSK, 16QAM ou 64QAM. En combinaison avec des taux de codage différents, cela conduit à un débit de données nominal de 6 à 27 Mbps.

Cependant, une modification a été effectuée en termes de taux d'échantillonnage pour l'adaptation d'IEEE 802.11a à IEEE 802.11p, comme indiqué dans le Tableau III.02, une large bande passante de 10 MHz est utilisée pour IEEE 802.11p. De cette façon, l'intervalle de garde est suffisamment long pour empêcher l'Interférence inter-symbole (Inter Symbol Interference ISI) provoquée par l'environnement de véhicule à grande vitesse qui caractérise les VANET. Les paramètres dans le domaine temporel sont doublés par rapport aux paramètres dans IEEE 802.11a [45].

Paramètre	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p	Changements
La bande passante	20MHz	10MHz	Moitié
Débit de données	6,9,12,18,24,36,48,54	3,4,5,6,9,12,18,24,27	Moitié
Type de modulation	BPSK,QPSK, 16QAM,64QAM	BPSK,QPSK, 16QAM,64QAM	Rien
Nombre de sous-porteuses	52	52	Rien
La durée d'une symbole	4 μ s	8 μ s	Double
L'intervalle de garde temporelle	0.8 μ s	1.6 μ s	Double

Tableau III.02. Comparaison entre les paramètres PHY des deux normes IEEE802.11p et 802.11a [45].

III.5.2. Couche MAC 802.11p

Maintenant, nous nous concentrons sur la couche MAC. Dans le protocole IEEE 802.11 original, la première chose que nous observons, c'est qu'il existe trois types de Service Set (SS) :

- Basic Service Set (BSS) : il est formé par des stations (STA, STation) et comprend un point d'accès (AP) qui se comporte comme un maître.
- Ensemble de service de base indépendant (IBSS) : formé uniquement par STA, sans infrastructure. Ils sont également appelés réseaux ad hoc.
- Ensemble de service étendu (ESS) : c'est l'union de deux ou plusieurs BSS connectés par un système de distribution (DS, Distribution System).

Il est clair que la couche MAC IEEE 802.11p implémente un IBSS. Lorsqu'un STA agit comme contrôleur dans un IBSS, il envoie régulièrement des beacons. Ces beacons sont des messages avec l'ID du service (SSID). Une fois qu'une STA a reçu un beacon, elle peut

synchroniser son temps et sa fréquence avec les autres STA qui ont également reçu les beacons. Ensuite, elle peut communiquer avec les autres STA dans la même Service Set (SS) [39].

Dans IEEE 802.11p, la STA doit rivaliser pour accéder au canal suivant le mécanisme d'accès CSMA/CA. La couche MAC pour l'IEEE 802.11 comprend quatre fonctions d'accès au canal, selon le mode utilisé (centralisé ou décentralisé) et sa situation envers la QoS :

- Hybrid Controlled Channel Access (HCCA).
- Point Coordination Function (PCF).
- Distributed Coordination Function (DCF).
- Enhanced Distributed Coordination Function (EDCF).

	Mode Infrastructure	Mode Ad Hoc
Non-QoS	PCF	DCF
QoS	HCCA	EDCF

Tableau III.03. Les fonctions d'accès au canal dans la norme IEEE 802.11.

III.5.2.1. La Fonction de Coordination Distribuée (DCF)

La Fonction de Coordination Distribuée d'accès au médium, ou DCF (Distributed Coordination Function), permet de gérer l'accès au canal en utilisant l'algorithme CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) [40]. En effet, il n'est pas possible avec un médium radio de détecter les collisions de trames comme avec Ethernet. En conséquence, chaque trame émise doit être acquittée par le récepteur. Une collision a un impact important sur les performances du réseau, c'est pourquoi le but de la DCF est de limiter autant que possible les collisions.

Lorsqu'un terminal souhaite émettre une trame, il commence par s'assurer qu'aucune autre transmission n'est en cours. Le médium radio est considéré comme occupé lorsque le niveau de signal sur le canal dépasse un certain seuil appelé seuil de détection de porteuse. Si le médium est perçu comme étant libre (idle) durant une période nommée DIFS (DCF Inter Frame Spacing) dont la valeur est une constante définie par la norme, la trame est émise. Si au contraire le médium est occupé, l'émetteur patiente jusqu'à sa libération [40].

Plusieurs stations pouvant être simultanément en attente, donc il est nécessaire de s'assurer qu'elles ne démarrent pas leur transmission simultanément. Les stations tirent un

nombre aléatoire appelé backoff de façon uniforme dans un intervalle appelé fenêtre de contention CW (Contention Window). Lorsque le médium est libéré, chacun patiente un délai DIFS avant de commencer à décrémenter son propre backoff. Lorsque ce compteur atteint une valeur nulle, la transmission démarre. Si, au cours de ce processus, le médium devient occupé, la décrémentation est arrêtée et la valeur résiduelle est utilisée comme backoff initial lors de la tentative suivante. La Figure III.3 illustre l'organigramme du fonctionnement de la DCF [40].

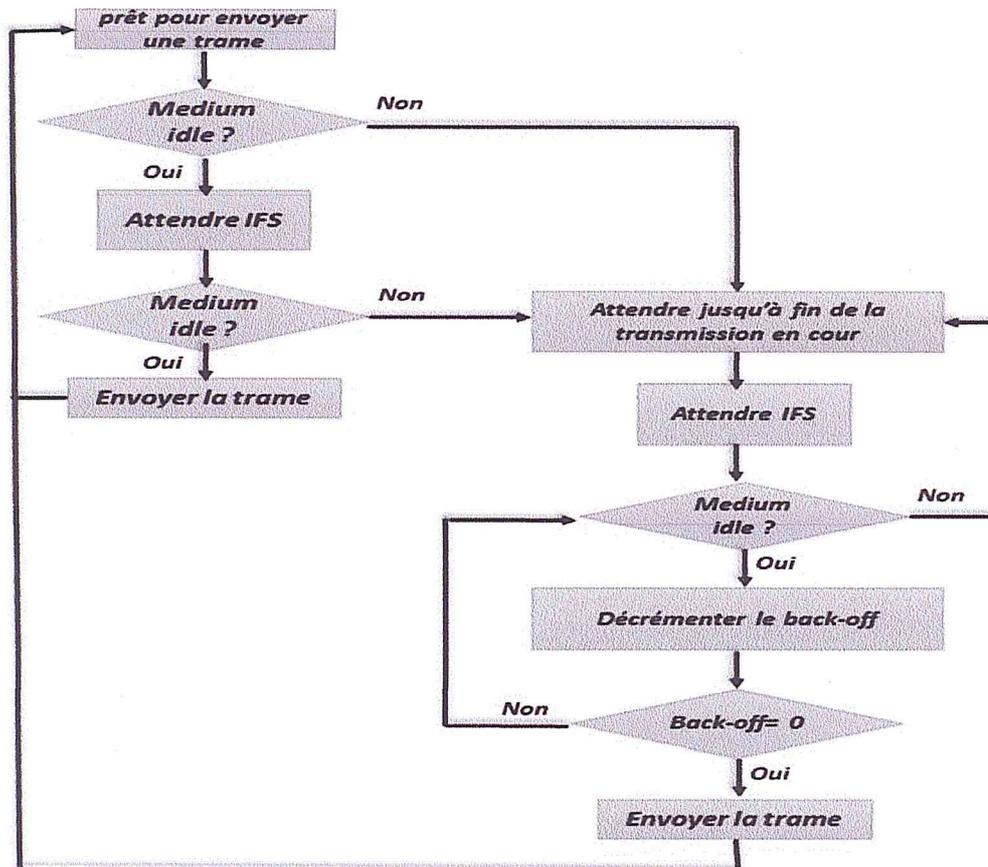


Figure III.3. DCF dans la norme 802.11.

À la réception, un terminal s'assure que celle-ci ne contient aucune erreur puis, il envoie en réponse un acquittement ACK au bout d'un temps SIFS plus court que DIFS afin de donner la priorité aux acquittements sur les trames de données. Si l'émetteur d'une trame ne reçoit pas d'acquiescement en retour, il considère qu'une collision a eu lieu et retransmet la même trame mais après l'exécution d'un nouveau backoff, tiré dans une fenêtre de contention dont la taille est doublée. Le processus est répété jusqu'à ce que la taille de la fenêtre de contention atteigne une valeur maximale CW_{max} avant de détruire la trame [42].

Ce protocole traite tous les émetteurs et toutes les trames sur un pied d'égalité. Le médium radio est partagé de façon équitable et il n'est pas possible de définir des priorités d'accès. Par conséquent, l'application d'une politique de qualité de service, et la priorisation de certains types de trafic par rapport à d'autres est impossible au niveau de l'accès au médium. La gestion de la qualité de service au niveau du protocole d'accès au médium est nécessaire afin de permettre l'application des politiques définies par les couches supérieures. C'est pourquoi une amélioration de ce mécanisme est actuellement en cours de définition : c'est l'EDCF IEEE 802.11e [42].

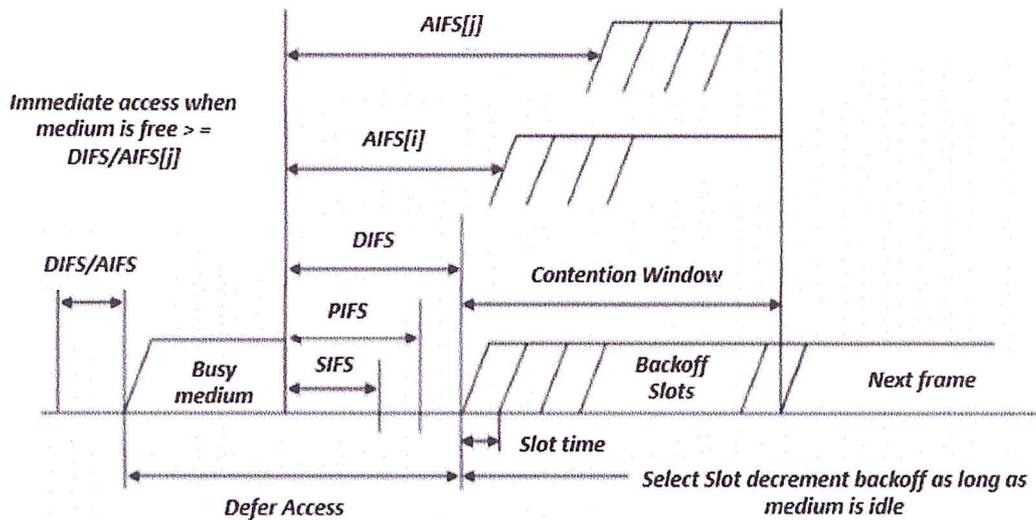


Figure III.4. La méthode d'accès au support dans IEEE802.11 et IEEE802.11e/p [40].

III.6. La qualité de service et 802.11e

III.6.1. Définition La qualité de service QoS

Peut être définie comme le degré de satisfaction d'un utilisateur des services fournis par un système de communication. La QoS est définie dans [61] comme la capacité d'un élément du réseau (ex: routeur, nœud ou une application) de fournir un niveau de garantie pour un acheminement des données. Dans les réseaux de télécommunication, l'objectif de la qualité de service est d'atteindre un meilleur comportement de la communication, pour que le contenu de cette dernière soit correctement acheminé, et les ressources du réseau sont utilisées d'une façon optimale. Le RFC 2386 [62] caractérise la QoS comme un ensemble de besoins à assurer par le réseau pour le transport d'un trafic d'une source à une destination.

III.6.2. Niveaux de service

Le terme « niveau de service » (en anglais Service level) définit le niveau d'exigence pour la capacité d'un réseau à fournir un service point à point ou de bout en bout avec un trafic donné. On définit généralement trois niveaux de QoS :

- Meilleur effort (en anglais best effort), ne fournissant aucune différenciation entre plusieurs flux réseaux et ne permettant aucune garantie. Ce niveau de service est ainsi parfois appelé « lack of QoS ».
- Service différencié (en anglais differentiated service ou soft QoS), permettant de définir des niveaux de priorité aux différents flux réseau sans toutefois fournir une garantie stricte.
- Service garanti (en anglais guaranteed service ou hard QoS), consistant à réserver des ressources réseau pour certains types de flux. Le principal mécanisme utilisé pour obtenir un tel niveau de service est RSVP (Resource reSerVation Protocol, traduisez Protocole de réservation de ressources).

III.6.3. Critères ou paramètres de qualité de service

Les principaux critères permettant d'apprécier la qualité de service sont les suivants :

III.6.3.1. Débit Moyen (Average Throughput)

Le débit est la mesure de la rapidité avec laquelle nous pouvons envoyer des données via le réseau. C'est la mesure du nombre de paquets qui sont transmis par le réseau dans une unité de temps.

III.6.3.2. Délai Moyen de Bout en Bout (Average End to End Delay)

Il s'agit du temps moyen consommé par les paquets de données pour se propager de source en destination. Ce délai comprend le temps total de transmission, c'est-à-dire le temps de formation de paquets, de propagation, le temps de mise en file d'attente, l'horaire d'établissement de route, etc. Un réseau avec un délai end-to-end moyen minimum offre une meilleure vitesse de communication [63].

III.6.3.3. Le Rapport de Livraison des Paquets (Package Delivery Ratio PDR)

C'est le rapport entre le nombre de paquets reçus à la destination et le nombre de paquets générés à la source. Un réseau devrait fonctionner pour atteindre une PDR élevée afin d'avoir une meilleure performance. PDR montre la quantité de fiabilité offerte par le réseau [2].

III.6.3.4. Gigue (variation de retard en anglais jitter) :

elle représente la fluctuation du signal numérique, dans le temps ou en phase.

III.6.3.5. Perte de paquet (en anglais packet loss)

elle correspond à la non-délivrance d'un paquet de données. Dans la majorité des cas, la perte des paquets est due aux causes suivantes [11], [31] :

- La saturation de la file d'attente de l'interface de sortie.
- Un paquet corrompu est détecté.
- Du fait type des algorithmes appliqués, le routeur rejette les paquets moins prioritaires.
- Erreur de routage.
- Fiabilité des médias.

Les paramètres de QoS le débit, le retard, le gigue et taux de perte des paquets sont appropriés aux applications multimédias et aussi à la couche MAC

III.6.4. Présentation d'IEEE 802.11e

Le support sans fil a des caractéristiques fondamentalement différentes d'un support filaire. Nous devrions noter que le MAC essaye de fournir des garanties de service de QoS dans ce support qui est par sa nature imprévisible et dont la largeur de bande et le temps d'attente ne peuvent pas être garantis comme dans un système filaire, particulièrement dans un spectre non autorisé (hors License, comme la bande ISM de 2.4 GHz et de 5 GHz). Pour résoudre ce problème, le comité d'IEEE 802.11 a formé le comité du groupe de travail E (802.11e) pour définir des perfectionnements au MAC 802.11 original [44].

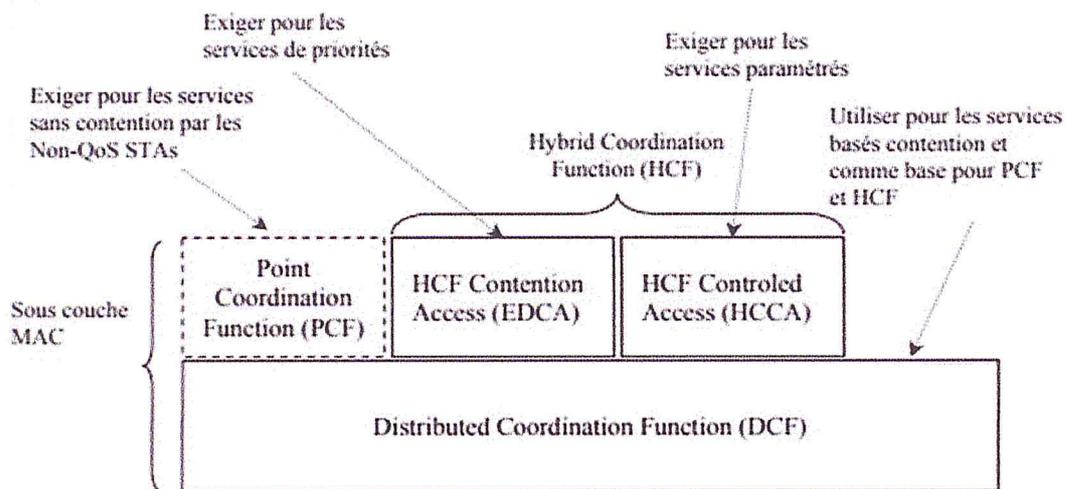


Figure III.5. l'Architecture MAC d'IEEE 802.11e [44].

Les perfectionnements ajoutés à la norme 802.11e consiste à ajouter une nouvelle fonction de coordination hybride « HCF » (en anglais Hybrid Coordination Function) [83], dans lesquels deux mécanismes d'accès au média sont définis (voir Figure III.5.). Semblable

aux deux mécanismes d'accès dans 802.11, ceux-ci sont de type d'accès au média basé contention (contention-based channel access), référencé en tant que EDCA (Enhanced Distributed Channel Access), et HCCA (HCF Controlled Channel Access).

III.6.4.1. La Fonction de Coordination Distribuée Améliorée (EDCF)

La couche MAC 802.11p est basée sur la priorisation de messages importants, de sécurité ou de temps critique, ce qui rend impossible l'application de normes de base 802.11. Par conséquent, elle adopte la Fonction de Coordination Distribuée Améliorée (EDCF, Enhanced Distributed Coordination Function) proposée par IEEE 802.11e.

C'est une extension du protocole DCF pour la garantie de la qualité de service. Le protocole EDCF permettra de définir des priorités d'accès entre les différentes catégories de trafic, fournissant ainsi aux couches protocolaires supérieures un moyen de mettre en oeuvre une différenciation de services.

Le protocole EDCF, à la différence du DCF qui traite tous les trafics avec une seule valeur DIFS et un seul CWmin/CWmax, définit quatre classes de trafic distinctes, et donc quatre files d'attente (AC, Access Categories) pour chaque station. En règle générale, des paquets appartenant à la même priorité partagent la même file d'attente. Chacune de ces ACs ayant son propre espace interframe arbitré (AIFS) CWmin, et CWmax, où l'AIFS doit être égal ou supérieur au DIFS[41].

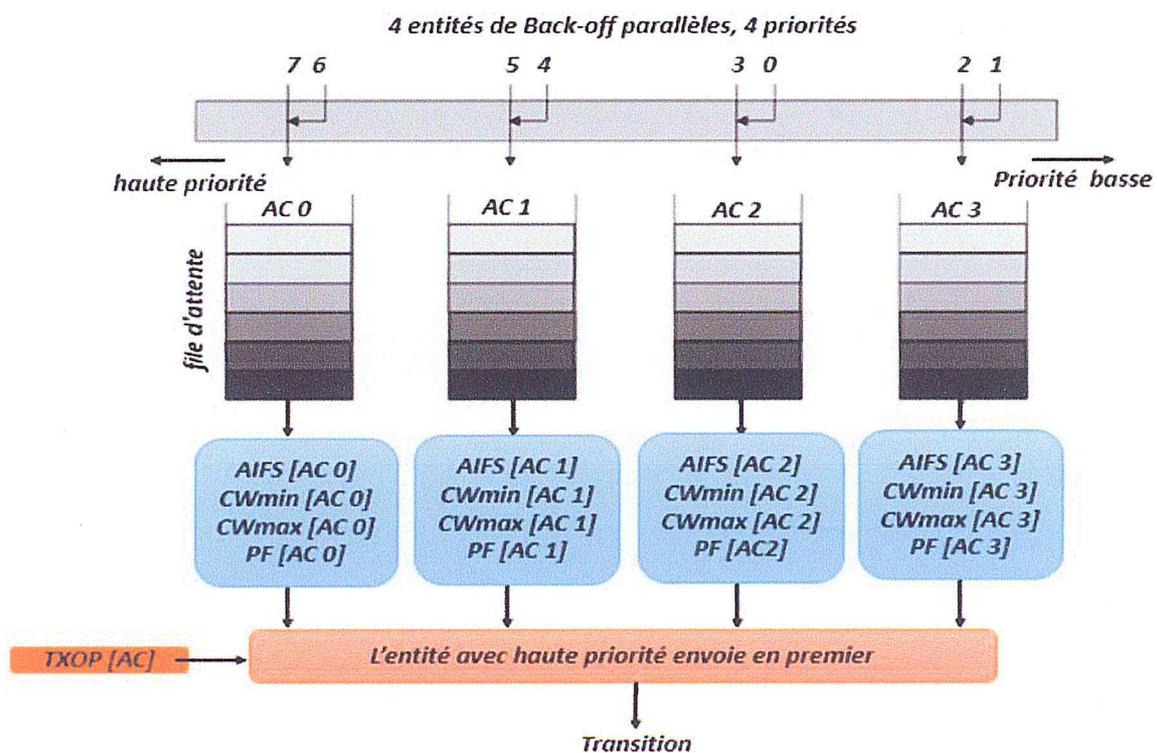


Figure III.6. Le mécanisme EDCF dans la couche MAC [76].

En examinant la figure III.6 ci-dessus, nous pouvons voir que chaque file d'attente comprend une fonction d'accès au canal distribués améliorés (EDCAF). Chaque EDCAF avec son Arbitraire Inter Frame Space (AIFS) agit comme une seule entité DCF améliorée, elles exécutent alors un mécanisme de contention interne, et définit un ordonnancement de priorités au sein d'une station en manipulant la collision de manière virtuelle avant d'envoyer la trame de plus haute priorité et de temps d'attente plus réduite. D'autres EDCAF effectuent donc un Backoff avec des valeurs de fenêtre de conflit (Contention Window) accrues. En général, EDCAF appartenant à certaines AC est définie par les paramètres suivants : AIFS [AC], PF [AC], CWmin [AC] et CWmax [AC], Où AIFS [AC] est calculé comme suit [43] :

$$AIFS [AC] = SIFS + AIFSN [AC] \times SlotTime$$

Concernant 802.11p, SIFS et Slot Time sont respectivement 32 μ s et 13 μ s [35]. La figure III.4 montre que l'AIFS et le temps de Back-off dans EDCF IEEE802.11p.

Comme IEEE 802.11p est conçu exclusivement pour un environnement de véhicule, il adopte EDCF, tout en conservant ses propriétés et ses qualités. L'opération multicanal est la principale différence d'IEEE 802.11p avec IEEE 802.11e, où tous les canaux (CCH et SCH) sont fournis avec un ensemble de catégories de trafic afin de garantir la QoS. La Figure III.6 fournit une illustration du mécanisme 802.11p EDCF [43].

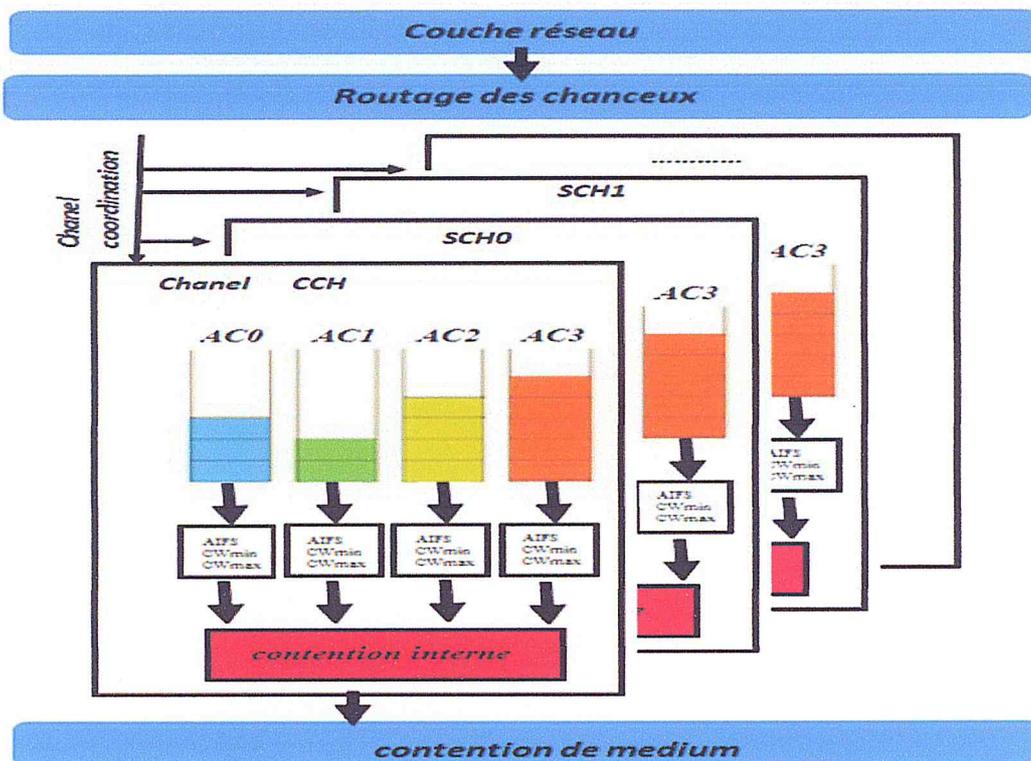


Figure III.7. EDCF à la couche MAC 802.11p [35].

La définition de chaque AC, soit sur CCH ou sur SCH, s'appuiera largement sur les couches supérieures, en particulier la couche d'application. Comme IEEE 802.11p est utilisé pour une application sensible au temps à des fins de sécurité principalement, il est évidemment bénéfique si nous donnons plus de priorité aux CCH [43].

III.7. Conclusion :

Les réseaux Ad-Hoc de véhicules (VANET) sont apparus comme un sous-ensemble de l'application du réseau Ad-Hoc mobile (MANET), Il est considéré comme une approche significative de l'ITS (Intelligent Transportation System). Les VANETs sont mis en place pour aider les conducteurs et améliorer la sécurité et le confort des passagers.

Dans ce chapitre, nous avons présenté la communication à court terme dédiée DSRC, et la norme WAVE /IEEE 802.11p, IEEE 802.11a, également connu sous le nom de WAVE, qui est un protocole standard destiné aux systèmes de trafic afin de soutenir la sécurité et les applications commerciales. L'IEEE 802.11p a été créé à partir de 802.11a, les deux sont basés sur OFDM, sauf que 802.11p utilise une bande passante de fréquence de 10 MHz afin de rendre le signal plus robuste contre le fading. Il utilise aussi l'EDCF comme un mécanisme d'accès au canal ce qui garantit une QoS en donnant une certaine priorité pour chaque type de trafic.

Nous avons également donné la définition de qualité de service ainsi que ses principaux paramètres affectés par la couche MAC. Nous avons décrit la nouvelle norme 802.11e destinée à offrir la qualité de service au niveau de la couche MAC, ainsi que les mécanismes utilisés pour hériter des spécifications des trafics afin de les utiliser comme dans les couches les plus hautes.

Chapitre IV :
Les protocoles de routage pour
les VANETS

Chapitre IV :

Les protocoles de routage pour les réseaux ad hoc

IV.1. introduction

Un réseau Ad Hoc est un ensemble des nœuds mobile, l'acheminement de l'information d'une source vers une destination nécessitent des protocoles de routage établissent des routes entre les nœuds de réseau.

Dans ce chapitre nous nous donnerons un aperçu général sur le routage Ad Hoc, Nous commençons par:

- Définir le routage.
- Citer la classification des protocoles de routage des réseaux Ad Hoc.
- présentant quelques protocoles de routage les plus connus dans ce domaine...etc.

IV.2. Définition du routage

Le routage est la tâche d'acheminement de flux des données à partir des nœuds sources vers les nœuds destinations [49]. Si une seule destination est impliquée dans la communication, alors il s'agit d'un "routage unicast", si encore tous les nœuds du réseau ou juste un sous ensemble sont concernés par la réception des données alors on parle du "broadcast" et du "routage multicast", respectivement [48].

L'objectif principal des protocoles de routage est l'établissement et la maintenance des chemins, pour que les données soient correctement délivrées dans le réseau [50].

IV.3. Classification des protocoles de routage

Suivant la manière de création et de maintenance de routes lors de l'acheminement des données, Les Algorithmes de routage ad hoc sont classés en trois classes:

III.3.1. Les protocoles de routage proactifs

Dans cette catégorie dite à diffusion de table, les protocoles maintiennent à jour une table de routage dans chaque nœud. A chaque changement du réseau des messages de mise à jour sont communiqués aux nœuds. Les protocoles basés sur ce principe sont entre autre: DSDV, WRP, OLSR, TBRPF, GSR, FSR, HSR, ZHLS, CGSR, DREAM, LSR et OLSR. Les protocoles de routage proactifs essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles au niveau de chaque nœud du réseau pour le faire ils utilisent l'échange régulier de messages de contrôle pour mettre à jour les tables de routage vers toute

destination atteignable depuis celui-ci. Cette approche permet de disposer d'une route vers chaque destination immédiatement au moment où un paquet doit être envoyé. Les tables de routage sont modifiées à chaque changement de la topologie du réseau. Les deux principales méthodes utilisées sont : la méthode Etat de Lien ("Link State") et la méthode du Vecteur de Distance ("Distance Vector") [52], [53], [54].

III.3.2. Protocoles de routage réactifs

Ces protocoles se basent sur la découverte et le maintien des routes. Suite à un besoin, une procédure de découverte globale de routes est lancée. Ce processus s'arrête une fois la route trouvée ou toutes les possibilités sont examinées. Dès que la communication est établie, cette route est maintenue jusqu'à ce que la destination devienne inaccessible ou jusqu'à ce que la route ne soit plus désirée. Parmi les protocoles basés sur ce principe on cite : CBRP, DSR, AODV, TORA, ABR, SSR, LAR, RDMAR, EARP et CEDAR [55], [56], [57].

III.3.3. Les protocoles de routage hybrides :

C'est une famille de protocole de routage qui est une combinaison des deux précédents et est dite 'hybrides', Ils utilisent la méthode proactive, pour apprendre le proche voisinage (par exemple voisinage à deux sauts ou trois sauts). Ainsi ils disposent des routes immédiatement dans le voisinage. Au-delà de cette zone prédéfinie, le protocole hybride fait appel aux techniques des protocoles réactifs pour chercher des routes [51].

Pour les VANETs c'est le routage réactif qui est le plus utilisé [23]. Une autre classification selon le nombre de nœuds destinataires est présentée dans la Figure IV.1:

- **Le routage Unicast:** l'information transite d'un nœud source unique vers un nœud destinataire unique.
- **Le routage Multicast/Geocast:** l'information est transmise d'un nœud source vers plusieurs nœuds destinataires précis (Multicast), ou à tous les destinataires présents dans une zone géographique donnée (Geocast).
- **Le routage de type Broadcast:** L'information du nœud source est envoyée à tous les nœuds présents dans le réseau.

Pour le routage unicast, on trouve trois autres sous-catégories de protocoles utilisés : les protocoles Ad-hoc, les protocoles basés sur la position et les protocoles de groupes.

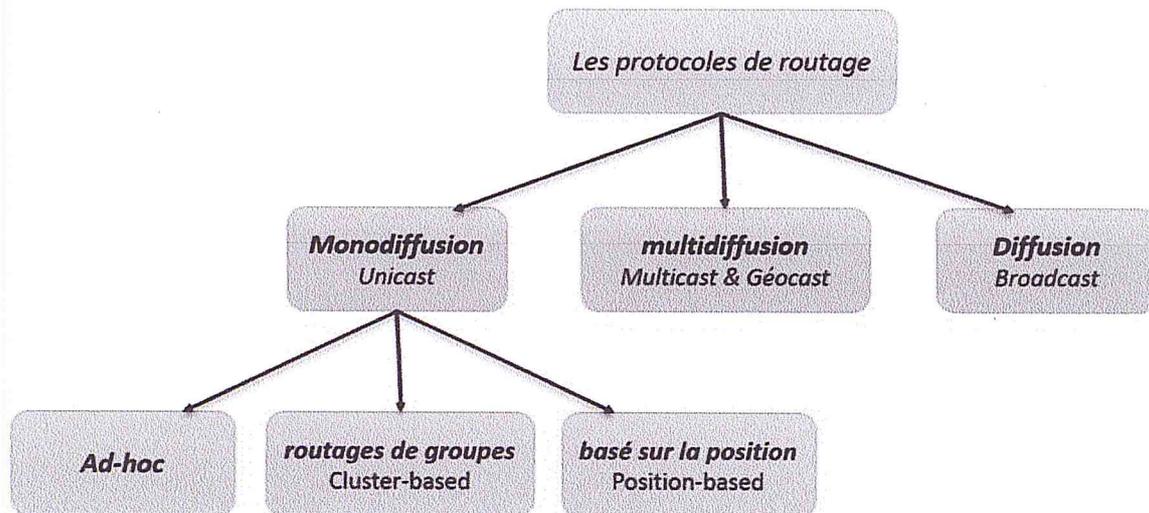


Figure IV.1. Classification des protocoles de routages dans les VANETs.

III. 4. Éventail des principaux protocoles de routage en réseaux Ad Hoc

III. 4.1. Présentation du protocole de routage DSR (Dynamic Source Routing)

La principale caractéristique distinctive de DSR est l'utilisation du routage source. C'est-à-dire que l'expéditeur connaît la route saut par saut (hop-by-hop) complète vers la destination. Ces routes sont stockées dans un cache. Lorsqu'un noeud dans le réseau Ad Hoc tente d'envoyer un paquet de données à une destination pour laquelle il ne connaît pas déjà la route, il utilise un processus de découverte de route pour la déterminer de manière dynamique.

La découverte fonctionne en inondant le réseau avec des paquets de demande de route (RREQ). Chaque noeud recevant un RREQ le rediffuse, à moins qu'il soit la destination ou qu'il ait une route vers la destination dans son cache. Un tel noeud répond au RREQ avec un paquet de réponse (RREP) qui est renvoyé vers la source d'origine. Le RREQ construit le chemin traversé sur le réseau, et se dirige vers la source en parcourant ce chemin vers l'arrière. La route reportée par le paquet RREP est mis en cache à la source pour une utilisation ultérieure [58].

Si un lien sur une route source est interrompu, le noeud source est notifié à l'aide d'un paquet d'erreur d'itinéraire (RERR). La source supprime toute route utilisant ce lien à partir de son cache. Un nouveau processus de découverte doit être lancé par la source si cette route est encore nécessaire. DSR utilise très fortement le routage des sources et la mise en cache des routes.

III. 4.1.1. Les Performances du protocole de routage DSR

Le routage à la source permet de repérer immédiatement les boucles et de les éliminer. De plus, les nœuds apprennent dynamiquement les routes en scrutant les paquets RREQ, RREP ou de données qu'ils reçoivent ce qui évite une transmission périodique des mises à jour.

Par contre, DSR introduit une surcharge croissante dans chaque paquet de données qui contient le chemin complet vers la destination ainsi qu'un trafic inutile lié à la diffusion des paquets RREQ (un nœud donné reçoit inutilement un même RREQ des tous ses voisins).

Les liens asymétriques constituent un autre inconvénient majeur de ce protocole car dans ce cas, une nouvelle procédure de découverte doit être initiée par la destination.

Par ailleurs, les caches n'intègrent pas de métriques pour minimiser la longueur des routes.

III. 4.2. Présentation du protocole de routage AODV (Ad hoc On demand Distance Vector)

Ce protocole découvre les routes sur une base de besoins similaires au DSR mais il adopte un mécanisme très différent pour maintenir l'information de routage. Il utilise des tables de routage traditionnelles, avec une entrée par destination. Cela contraste avec DSR, qui peut maintenir plusieurs routes pour chaque destination.

Lorsqu'un nœud doit commencer une transmission, AODV diffuse un paquet de découverte de façon broadcast. La destination va utiliser le chemin emprunté par le premier paquet de découverte qui l'a atteint. Il envoie alors un paquet réponse afin d'annoncer ce chemin à la source. En cas de disparition d'un lien sur le chemin choisi, un paquet d'erreur est généré. Une caractéristique importante d'AODV est la maintenance des états de liens basés sur des timers dans chaque nœud. En outre, une entrée de table de routage expire si elle n'est pas utilisée récemment [58].

III. 4.2.1. Les Performances du protocole de routage AODV

Comme pour DSR, les nœuds apprennent dynamiquement les routes à l'aide des paquets de découverte ce qui évite les messages systématiques de mise à jour des tables utilisés dans DSVD. AODV présente aussi l'avantage d'éliminer la surcharge due au routage par la source de DSR. Un fonctionnement multicast est également prévu.

Parmi les principaux inconvénients d'AODV:

- les liens doivent impérativement être symétriques.
- le choix de la route la plus récente ne conduit pas forcément à la route optimale.
- une seule route est gardée par destination, ce qui crée une latence lors de ruptures de liens.
- une surcharge importante est générée par le recours fréquent à des phases de découvertes de routes, par la diffusion d'un même RREQ à un nœud donné et par l'utilisation éventuelle de messages hello.

III. 4.3. Présentation du protocole de routage OLSR (Optimized Link State Routing)

L'OLSR est un protocole de routage proactif. Il s'agit d'une optimisation des protocoles d'état de liaison pure en sens qu'il réduit la taille du paquet de contrôle ainsi que le nombre de transmissions de paquets de contrôle requis.

OLSR réduit le trafic de contrôle en utilisant les relais multipoint (MPR) qui est l'idée clé derrière OLSR. Un MPR est le nœud voisin d'un saut (One-hop Neighbor) qui a été choisi pour transférer des paquets. Au lieu de l'inondation pure du réseau, les paquets sont simplement transmis par les MPR d'un nœud. Cela délimite les charges sur le réseau. Les nœuds, choisis comme MPR, ont également une responsabilité spéciale en déclarant d'état de lien dans le réseau, ils diffusent aussi cette information périodiquement dans leurs messages de contrôle [66].

L'OLSR est bien adapté aux réseaux mobiles importants et denses, en raison de l'utilisation de MPR. L'information de topologie du réseau est maintenue par échange périodique d'informations d'état de liaison. Si une plus grande réactivité aux changements topologiques est nécessaire, l'intervalle de temps pour l'échange des informations d'état de la liaison peut être réduit [66].

III. 4.3.1. Les Performances du protocole de routage OLSR

OLSR présente l'avantage de réduire la taille des messages de contrôle, car seuls les liens aux MPR sont déclarés. En plus, L'inondation est limitée par l'utilisation des MPR.

Comme pour tout protocole à état de lien, les routes utilisées sont optimales et l'absence de boucles est garantie. OLSR est adapté aux réseaux étendus, denses, et au trafic sporadique.

III.5. Autres protocoles

De nombreux autres protocoles de routage ont été proposés pour les réseaux mobiles ad hoc. Dans la catégorie des protocoles hiérarchique on peut citer Cluster-Head Gateway Switcher Routing (CGSR) présenté dans [71]. Certains autres protocoles nécessitent l'emploi de matériels externes, Par exemple Temporal Ordered Routing Algorithm (TORA) [72] a

besoin que les mobiles soient synchronisés. D'autres utilisent le système GPS pour estimer la direction géographique de la destination et ne faire intervenir qu'une sous partie du réseau dans la phase de construction des routes. Alors que beaucoup de protocoles cherchent à minimiser le nombre de sauts (minimum shortest path), certains protocoles enfin s'attachent à prendre d'autres critères en considération. ABR [73] (Associativity-Based Routing) par exemple privilégie les liens les plus stables (mobiles qui restent longtemps dans le voisinage les uns des autres). SSR [74] (Signal Stability Routing) travaille à partir des informations de niveau de signal et cherche à maximiser la durée de vie du réseau en agissant sur la puissance d'émission de chaque mobile séparément [75].

III.6. Les études préliminaires

Les travaux antérieurs sur l'optimisation des protocoles de routage consiste à :

- Une comparaison et une évaluation des performances de routage pour AODV et DSR, sur les réseaux MANET ont été effectuées en [78]. L'analyse du débit utile, la latence et le taux de livraison des paquets, ainsi que le coût de livraison ont montré que DSR et AODV ne sont pas appropriés dans les environnements véhiculaires. Dans [79], une étude extensive qui compare les protocoles de routage : AODV, DSDV et DSR dans des scénarios d'autoroute a été faite. Ces résultats ont démontré encore une fois que ces algorithmes de routages ne sont pas appropriés dans les scénarios VANET du point de vue taux de livraison, charge de routage et délai bout-en-bout.
- Dans [80] une comparaison des performances entre les protocoles AODV, DSR, FSR et TORA a été effectuée. Après avoir analysé le débit utile TCP, le taux de livraison et le délai moyen de livraison des paquets, il s'est démontré que TORA n'est pas approprié pour les environnements véhiculaires, alors que FSR et AODV ont montré des résultats encourageant seulement dans le cas des scénarios urbains. Les résultats ont démontré aussi que dans le cas de faible densité de trafic, le débit utile de FSR est inférieure que celui de AODV et DSR. Les deux protocoles ne chargent pas trop le réseau relativement, mais DSR cause spécialement un problème de grand délai bout-en-bout.
- Dans [81] une comparaison des performances entre les protocoles CBRP, AODV et DSDV. Il a observé que DSDV consomme plus de bande passante, en raison de la diffusion des mises à jour fréquentes et que AODV est meilleur que DSDV puisqu'il ne maintient pas de tables de routage au niveau des noeuds.

- Dans [82] ils ont proposé une étude sur la façon de perte des paquets dans le protocole AODV et qui peut être minimisé dans un réseau donné. Ils ont développé une technique qui identifie le lien rompu entre deux noeuds quelconques puis réparé la même voie.

D'autres travaux de recherche est pour les mécanismes de Qualité de Service consiste à l'amélioration du schéma d'accès. Les premiers travaux d'amélioration d'IEEE 802.11e se sont intéressés au schéma d'accès distribué EDCA et aux différents paramètres qui rentrent en jeu à ce niveau. Les auteurs dans [85] et [86] proposent d'apporter des modifications au fonctionnement du BEB: soit en modifiant le comportement des tailles de fenêtres de contention après une transmission avec succès, soit en modifiant la vitesse de décompte du backoff en l'accélération au fil du décompte. Dans [87], l'auteur propose un système à deux niveaux permettant de protéger les flux voix et vidéo (utilisant EDCA) des autres flux QoS (en adoptant un contrôle d'admission) et des flux non-QoS (en adaptant au vol les paramètres d'accès EDCA). Dans [88] l'auteur donne un aperçu des directions de recherche nécessaires pour assurer une qualité de service sur les réseaux d'accès 802.11.

III.7. Conclusion

Le routage de l'information consiste à diriger les messages du nœud source vers le ou les nœuds destinataires à travers le réseau. Les communications peuvent se faire de deux manières différentes, directement avec un seul saut (single-hop) ou avec plusieurs sauts (multi-hop).

Dans ce chapitre nous avons présenté les types de protocoles de routage les plus importants pour les MANETs et pouvant être utilisés pour les VANETs, nous nous sommes surtout concentré sur les protocoles de routage Ad Hoc à cause de leur utilisation intense pour les communications V2V. Enfin, nous présentons les travaux préliminaires qui concernent notre étude.

Chapitre V :
La simulation et la
présentation des résultats

Chapitre V : *La simulation et la présentation des résultats*

V.1. Introduction

Face à la complexité des réseaux de communication, la simulation a été et reste toujours l'outil privilégié pour évaluer les performances des réseaux et pour étudier leur comportement. Les différents composants du réseau (source, lien, nœud, protocole, ...), sont modélisés en termes d'instructions qui sont interprétées par une entité de coordination, le simulateur.

Dans ce chapitre, nous allons présenter dans un premier temps le simulateur utilisé pour faire notre expérience. Ensuite, nous allons implémenter et évaluer l'EDCA dans le 802.11p dont ce dernier, on va la comparer avec l'IEEE 802.11a. Puis, nous allons mettre en parallèle les 3 protocoles de routage l'AODV, le DSR et l'OLSR et enfin, nous étudions l'impact de vitesse sur le protocole l'AODV avec l'IEEE 802.11p.

V.2. Simulateur de réseau

La mise en œuvre sur le terrain des réseaux VANET est extrêmement coûteuse et difficile. Aussi, la simulation est une étape nécessaire dans cette thématique.

Il existe plusieurs simulateurs de réseaux capables d'effectuer des simulations répondant aux critères des VANET, parmi les simulateurs les plus utilisés dans les laboratoires de recherche sont OMNET++, NS-2, NS-3 et OPNET. L'objectif de la simulation est de reproduire les mêmes résultats que ceux que l'on obtiendrait en conditions réelles.

V.3. Environnement de simulation: OPNET MODELER

L'environnement OPNET permet la modélisation et la simulation de réseaux de communication grâce à ses bibliothèques de modèles (routeurs, commutateurs, stations de travail, serveurs ...) et de protocoles (TCP/IP, FTP, FDDI, Ethernet, ATM ...). Le module Radio OPNET permet la simulation des réseaux de radiocommunication: hertzien, téléphonie cellulaire et satellitaire [59]. Ce simulateur peut être très flexible quand il est utilisé dans l'étude [60]:

- de la communication dans les réseaux.
- des protocoles de communications.
- des équipements.
- des applications.

Il présente une très bonne interface graphique illustré dans la figure V.1 relativement complète avec une librairie suffisamment fournie pour une très large gamme d'utilisation et d'application. Evidemment, l'éditeur graphique de ce simulateur ou GUI (Graphic User Interface) nous permet, entre autre, de construire différentes topologies et architectures de réseaux pour différentes applications et avec différents protocoles.

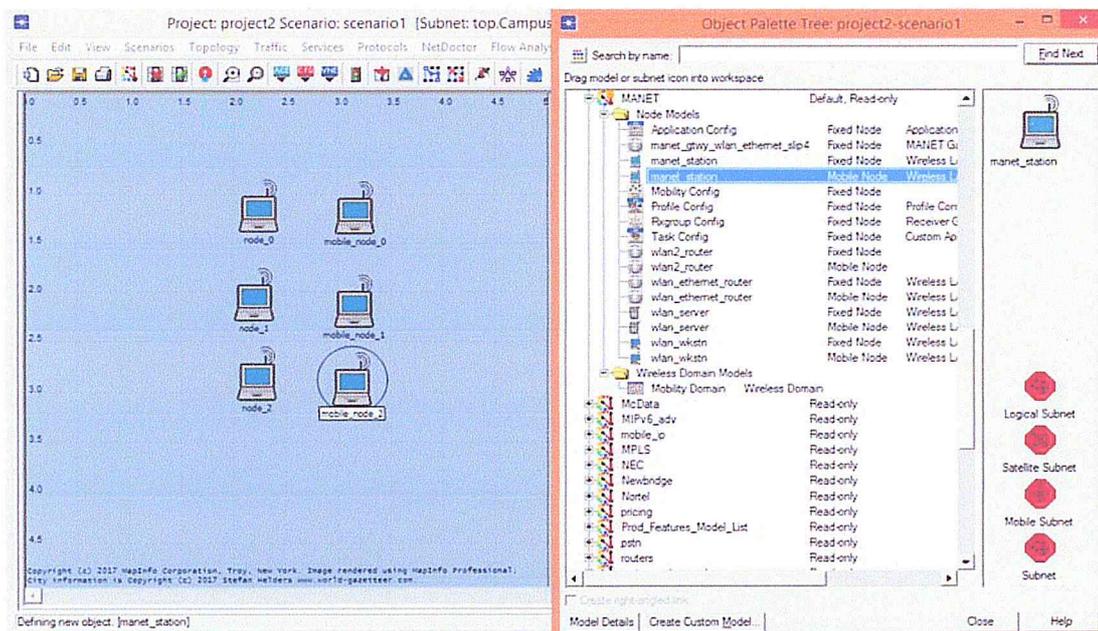


Figure V.1. Interface du Modeler 14.5.

L'OPNET [60] présente trois fonctions principales:

- **Modélisation:** il dispose d'un environnement graphique pour créer tout type de modèles de protocoles.
- **Simulation:** il utilise trois différentes technologies avancées de simulation.
- **Analyse:** les données et résultats de simulation peuvent être analysés et affichés d'une manière assez simple en utilisant entre autres des graphes, des cartes, des statistiques.

V.4. La structure d'OPNET

Dans OPNET, les modèles de simulation sont organisés dans une hiérarchie qui se compose de trois niveaux. On a alors implémenté notre nouveau modèle, dans chaque niveau différent

- **Plan de réseau:** est le niveau le plus élevé de la hiérarchie d'OPNET. Il permet de décrire la topologie générale du réseau étudié. Le réseau est décrit sous forme d'un ensemble d'éléments de communication (routeurs, stations de travail, hub, etc.) qui

sont appelés les nœuds et de liens entre eux. Les utilisateurs peuvent configurer le réseau en paramétrant les attributs associés aux nœuds et aux liens.

- **Plan de nœud:** permet de définir l'architecture des nœuds en traduisant les flux de données échangés entre les blocs fonctionnels appelés les modules. Les modules peuvent représenter les applications, les couches de protocoles, les buffers, etc. Les modules peuvent communiquer entre eux via des flux des paquets ou via des liens statistiques (échanger des informations de statistiques, par exemple : remplissage de file d'attente, délai limite de transmission, etc.). La fonctionnalité de chaque module est ensuite spécifiée au niveau processus.
- **Plan de processus:** permet de définir le rôle du module composant le nœud. Le comportement de module est spécifié au niveau de processus à l'aide de machine à états finis. Chaque état correspond une activité décrite en code C/C++ supporté par une bibliothèque de fonctions préprogrammées. Les transitions entre les différents états sont déterminées par des conditions d'exécution, par exemple : les événements d'interruption.

V.5. Présentation des topologies

Pour réaliser notre simulation on a utilisé deux topologies (A) et (B) illustré dans la figure IV.2 et IV.3, les deux représentent une route directe avec deux voies parallèles (Environnement autoroutier) avec 40 nœuds, disposent d'une distance fixe entre eux (30 mètres), chaque véhicule a un profil de connexion, et chacun a quatre ACs (*voice, vidéo, besteffort, background*). On démarre avec aucune connexion entre les véhicules après chaque 30 secondes, on établit 5 nouvelles connexions. A titre d'exemple, après 5 minutes de temps simulé, on obtient 30 connexions (5×10).

La topologie B dispose 20 véhicules, on a établi 4 connexions chaque 30 secondes. Cette topologie on la utiliser pour étudier l'impact de la vitesse sur le protocole de routage AODV avec le standard l'IEEE 802.11p.

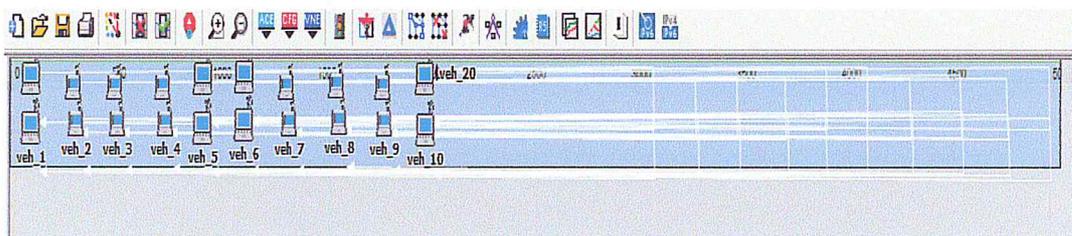


Figure V.2. La topologie (B).

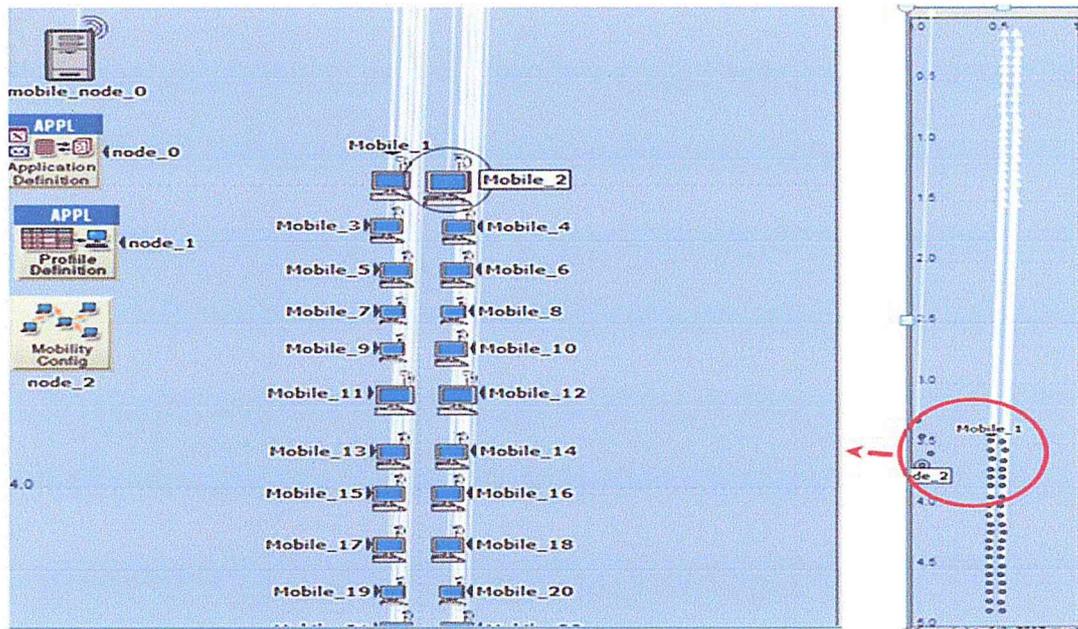


Figure V.3. La topologie (A).

Les paramètres de la simulation pour la topologie (A) et (B) sont présentés dans le tableau :

Longueur de la galerie	10Km×2Km (A) ; 1km ×5km (B)
Nombre de nœuds	40 véhicules (A) ; 20 véhicules (B)
Vitesse des véhicules	40 km/h (A) ; 80 km/h (B) ;120 km/h(B)
Modèle de mobilité	Route direct (A) (B)
Méthode d'accès	Le standard IEEE 802.11a (A) et 802.11p (A) (B)
Seuil de puissance de réception des paquets	-95 dBm (A) (B)
Taille du paquet	1024bytes (A) (B)
Temps d'arrivée entre les paquets	1 Second (A) (B)
Nombre de connexions	Plus 5 chaque 30 s (A) ; Plus 3 chaque 30 s (B)
Taux de transmission	8 paquets/second
Protocole de routage	AODV (A) (B) ; DSR (A); OLSR(A).
Temps simulé	300s (B); 600 s (A)

Tableau V.1 les paramètres de simulation pour la topologie (A) et (B).

V.6. Implémentation de 802.11p sous OPNET

Comme mentionné dans de le chapitre précédent, IEEE 802.11p adopte OFDM et EDCA de la technologie HCF en couche PHY et Mac, respectivement.

Au niveau de simulateur OPNET, le nœud IEEE 802.11a prend OFDM mais ne prend pas en charge EDCA. Pour cela nous avons implémenté le standard IEEE 802.11p basé sur le standard IEEE 802.11a, on modifions quelque paramètres illustré dans la Figure IV.4 et IV.5.

Attribute	Value
⊕ IP	
⊕ NHRP	
⊕ SIP	
⊕ Servers	
⊖ Wireless LAN	
⊕ Wireless LAN MAC Address	Auto Assigned
⊕ Wireless LAN Parameters	(...)
⊕ BSS Identifier	39
⊕ Access Point Functionality	Disabled
⊕ Physical Characteristics	OFDM (802.11a)
⊕ Data Rate (bps)	6 Mbps
⊕ Channel Settings	(...)
⊕ Bandwidth (MHz)	10
⊕ Min Frequency (MHz)	5.855
⊕ Transmit Power (W)	0.005
⊕ Packet Reception-Power Threshold...	-95
⊕ Rts Threshold (bytes)	None
⊕ Fragmentation Threshold (bytes)	None
⊕ CTS-to-self Option	Enabled
⊕ Short Retry Limit	7
⊕ Long Retry Limit	4
⊕ AP Beacon Interval (secs)	0.02
⊕ Max Receive Lifetime (secs)	0.5
⊕ Buffer Size (bits)	256000
⊕ Roaming Capability	Disabled
⊕ Large Packet Processing	Drop
⊕ PCF Parameters	(...)

Exact match Filter Advanced
 Apply to selected objects

Figure V.4. Paramètres de couche PHY IEEE 802.11 p.

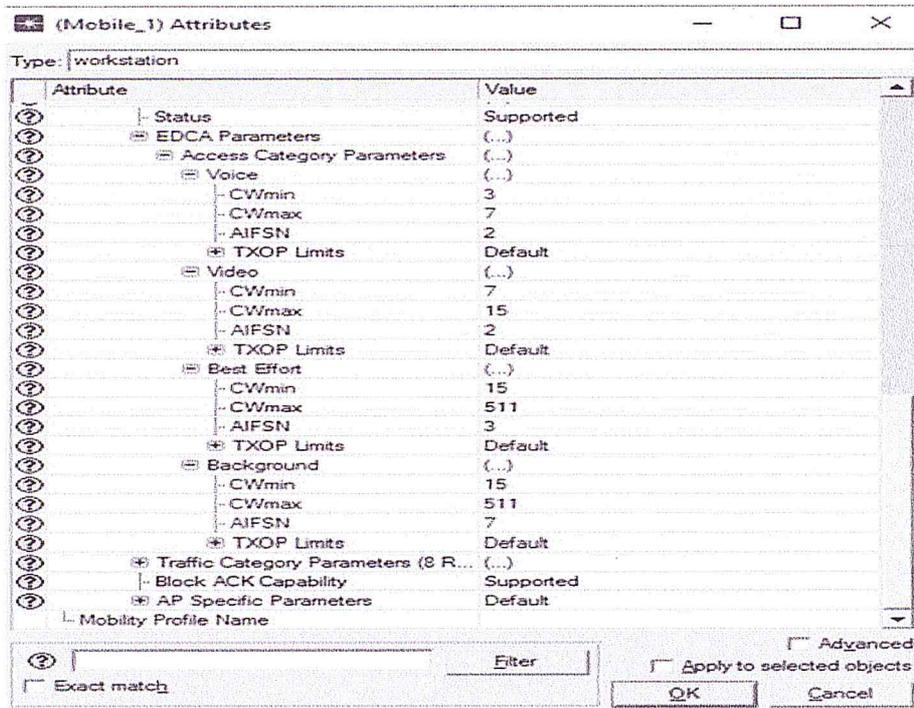


Figure V.5. Paramètres d'EDCA en IEEE 802.11 p.

V.7. Présentation de la simulation et les Résultats

V.7.1. Section 01 : Evaluation de l'EDCF 802.11p

Dans cette section, nous allons présenter les résultats de la première simulation pour l'évaluation de performance d'EDCF IEEE 802.11p, en termes de délai moyen (end-to-end Delay).

L'environnement de la simulation c'est la topologie (A) illustré dans la figure V.3. La vitesse de l'ensemble des véhicules est considéré la même et constante, il est important aussi de mentionné que la distance entre ces nœud doit être la même (ils sont tous situés dans la même ligne) pour négliger tous les effets de distance et de vitesse sur les résultats du délai.

- **Analyse et interprétation des résultats**

La figure V.6 montre le délai de bout en bout pour chaque ACs (*background*, *besteffort*, *video*, *voice*) avec IEEE 802.11a en fonction du temps simulé. La première observation qu'on a faite et à mesure que le temps augmente, le délai pour les quatre ACs augmente. Cela est dû à la charge du trafic qui augmente avec le temps, ce qui génère une saturation et des collisions. Ce qui nous ramène à constater qu'il y a une absence de priorité d'accès. Ce qui confirme que lors des premières minutes le délai pour l'AC *video* aura la priorité que celui de *background*, mais par la suite l'AC *background* reprendra cette priorité. Cela est injuste si on espère fournir une bonne qualité de service. En outre, le délai d'AC *besteffort* il fallait être

inférieur que celui de *background* puisqu'il a la priorité que l'AC *background*. Néanmoins, on constate le contraire lorsqu'on voit que "background" est meilleur que "besteffort".

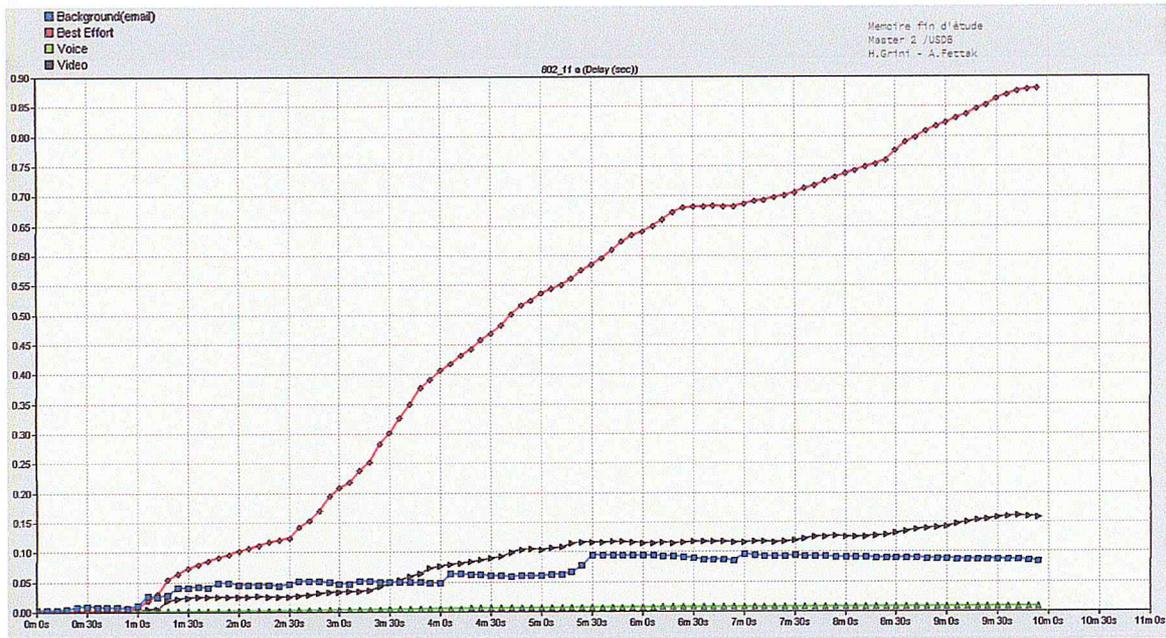


Figure V.6. Comparaison du délai bout en bout pour les quatre accès catégorie avec 802.11 a.

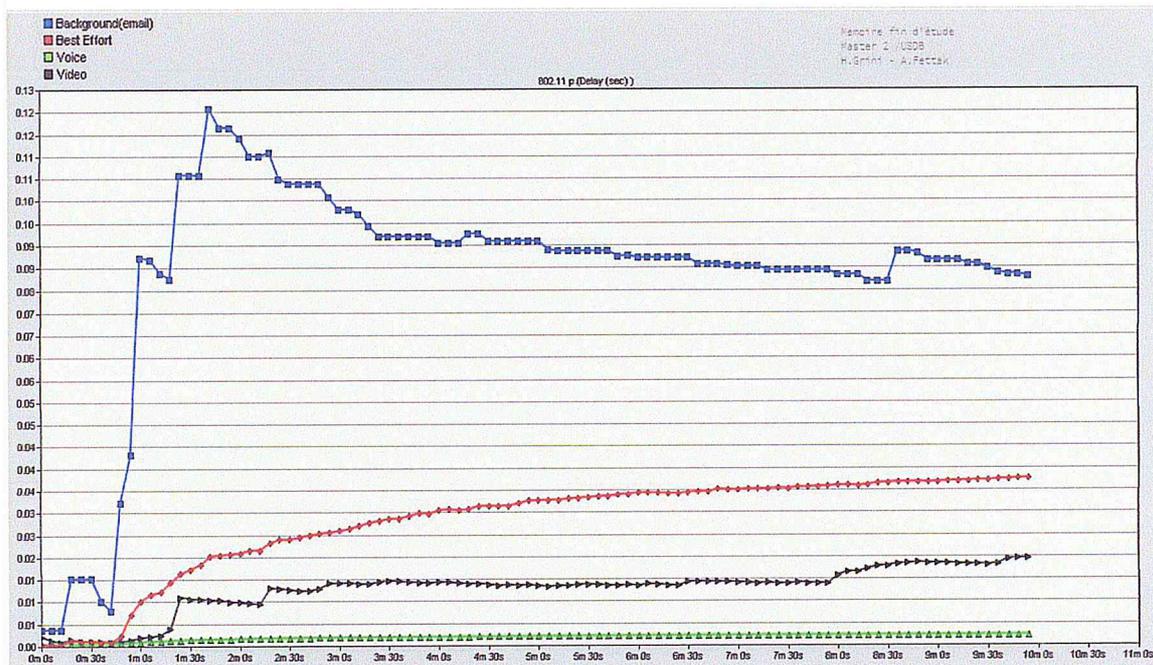


Figure V.7. Comparaison du délai bout en bout pour les quatre accès catégorie avec 802.11 p.

La figure V.7 montre le délai de bout en bout pour chaque ACs avec IEEE 802.11p en fonction du temps simulé, on remarque les quatre courbes de délai augmentent et cela pour la même raison expliquée précédemment. Ce qu'il diffère que cette fois on voit clairement que *Le délai de "voice" < délai "video" < délai "besteffort" < délai "background"* durant tout le temps

simulé. Pour cela on peut dire que malgré le nombre de connexion, l'AC *voice* reste toujours la plus prioritaire, et pour les autres ACs on peut les classifiés par rapport aux résultats obtenue comme suite (*video, besteffort, background*).

Ces résultats obtenus prouvent le succès de l'implémentation de l'EDCA dans le standard IEEE 802.11p.

V.7.2. Section 02 : Evaluation de performances des standards IEEE 802.11a et IEEE 802.11p

Dans cette section, nous allons présenter les résultats de la deuxième simulation pour l'évaluation de performances des deux standards IEEE 802.11a et IEEE802.11p en termes de débit moyen, délai moyen de bout en bout et le taux de perte des paquets. Nous utilisons les mêmes outils et la même topologie précédente (A).

- Analyse et interprétation des résultats

La Figure V.8 montre le débit moyen des 40 véhicules pour les deux standards IEEE 802.11a et IEEE 802.11 p en fonction du temps de simulations, on remarque que le débit moyen est amoindri étant donné que le nombre de connexion entre les véhicules est faible, et quand le nombre de véhicules augmente, le débit moyen augmente automatiquement. Aussi, on voit que le débit moyen dans le cas de 802.11p est toujours meilleur que dans le cas d'IEEE 802.11a. Et cela a cause de la différence entre les deux sur le plan de couche MAC (la couche PHY aussi), et surtout a cause de la vitesse qu'on a prise (min 40km/h) puisque l'IEEE802.11a a été développé pour supporter le maximum 10 km/h. Par contre, le 802.11p peut atteindre jusqu'à 200 km/h.

La Figure V.9 montre que le délai de bout en bout est toujours augmenter avec les deux standards IEEE802.11a et IEEE 802.11p dans la mesure où le nombre de connexion s'augmente, et ils peuvent arriver jusqu'à la saturation de réseau. En plus, on obtient un court délai avec le standard IEEE 802.11p par rapport à IEEE802.11a, et la différence entre le délai en IEEE 802.11p et IEEE 802.11a est sur le même niveau d'augmentation. Donc, même si l'on termine notre simulation dans des jours entiers, l'IEEE 802.11p sera constamment meilleur que le IEEE802.11a en terme de délai moyen (mais on doit toujours respecter le paramètre de la vitesse qu'on a pris).

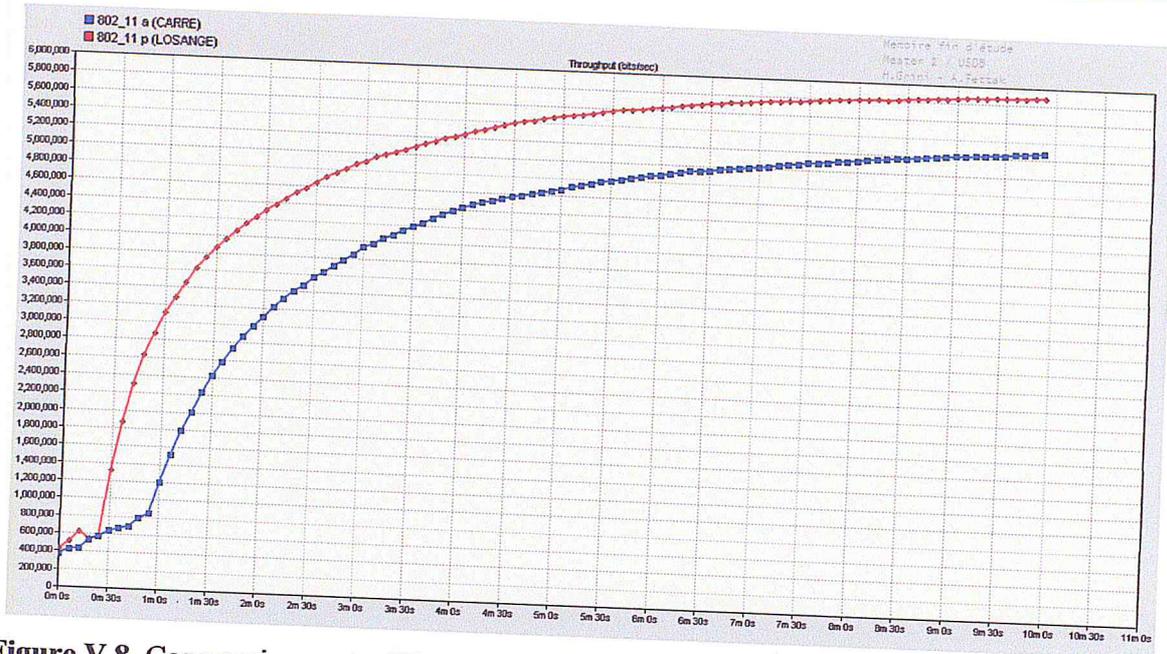


Figure V.8. Comparaison entre IEEE 802.11 a et IEEE 802.11 p en terme de débit moyen.

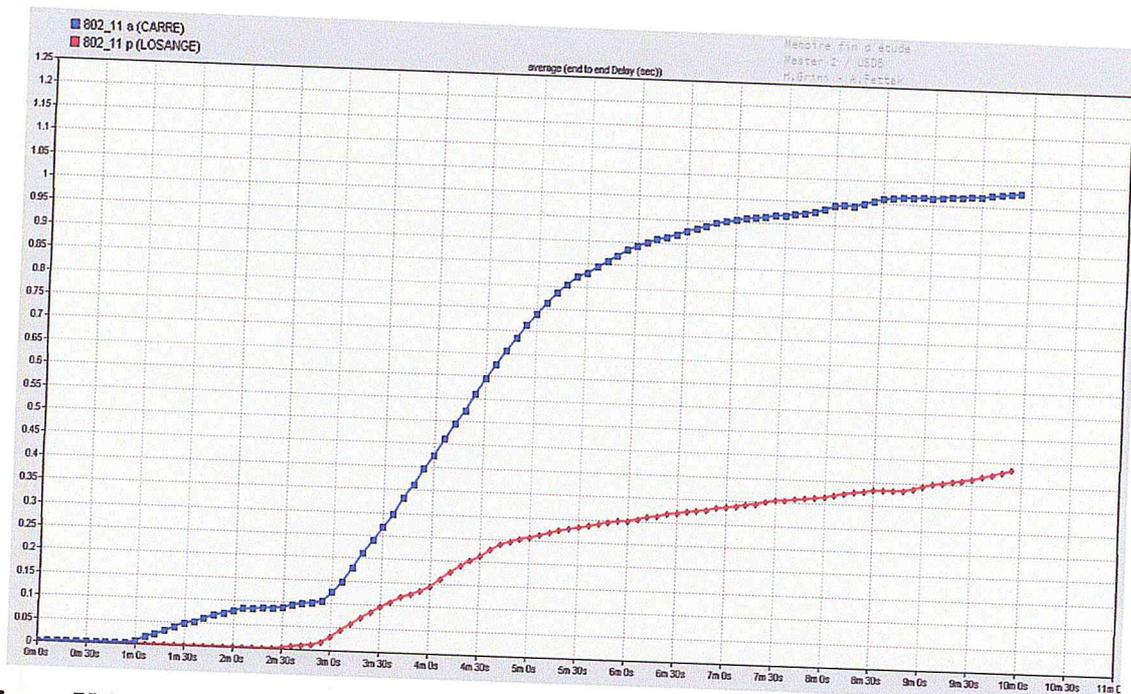


Figure V.9. Comparaison entre IEEE 802.11 a et IEEE 802.11 p en terme de délai de bout en bout.

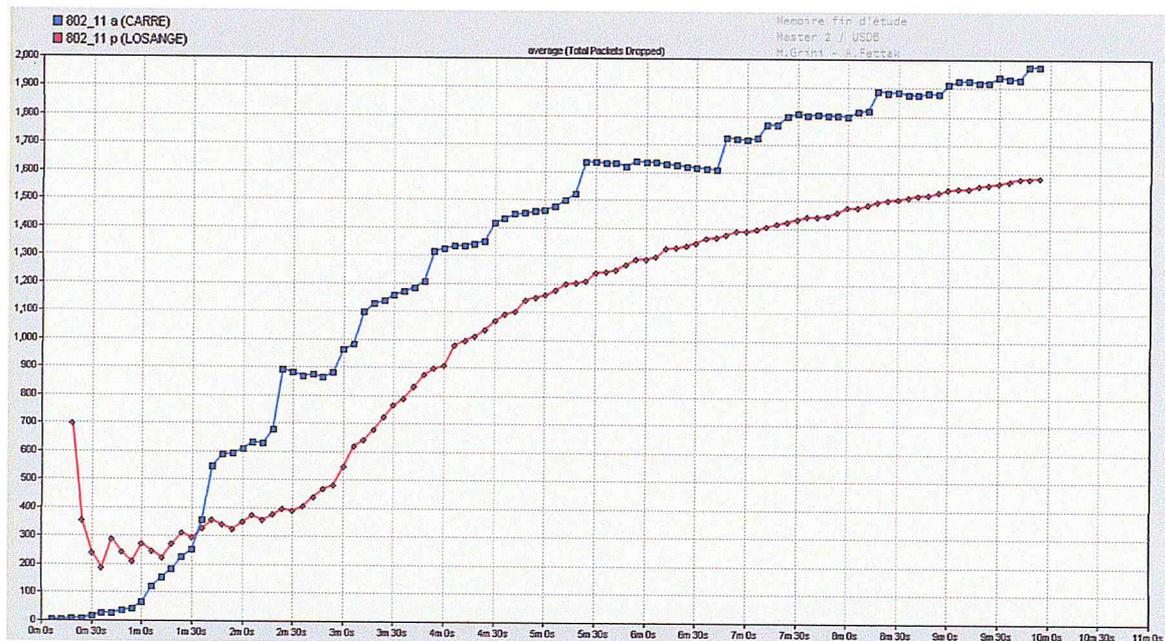


Figure V.10. Comparaison entre IEEE 802.11 a et IEEE 802.11 p en terme de perte de données.

La figure V.10 montre le taux la perte des données pour les deux standards IEEE 802.11a et IEEE 802.11p en fonction du temps de simulation. La première observation est que La perte des données augmente rapidement. Cela à cause de la charge du trafic qui augment avec le temps, qu'elle va causer une saturation et une collision. Le faite de démarrage avec un nombre de connexion faible, on constate une perte de données de l'IEEE 802.11a qui est faible à l'égard de l'IEEE 802.11p. Cela est à cause de la différence entre 802.11a et 802.11p dans la bande passante notamment lors du démarrage où la mobilité est faible. Mais, après la première minute, le nombre de connexion augmente et l'IEEE802.11a va perdre beaucoup de données par rapport à IEEE 802.11p dont ce dernier demeure la meilleur jusqu'à la fin du temps simulé. D'une manière générale, le 802.11p est mieux que le 802.11a du fait que lors d'un calcul d'une moyenne générale de perte de données, il est évident que l'IEEE802.11p est meilleur que l'autre standard.

D'après tous ces résultats on conclure que IEEE 802.11p offre une meilleure performance par rapport à IEEE 802.11a dans toutes les évaluations mesures. La principale raison et que l'IEEE 802.11p est développée spécialement pour les communications de véhicules avec plusieurs améliorations, comme la bande passante qui à changée à environ 5,9 GHz et 10, respectivement, et la durée des symboles OFDM est également changée de 4s à 8s, ce qui signifie que le préfixe cyclique de la durée est doublé. Tous ces changements sont bénéfiques pour réduire les interférences avec les systèmes hérités et Interférence entre symboles OFDM

(ISI) dans les canaux extérieurs. En outre, IEEE 802.11p adopte la technologie EDCA dans la couche Mac, qui contrôle légitimement le service de trafic avec une priorité différente et réduit le conflit en offrant un juste accès au canal.

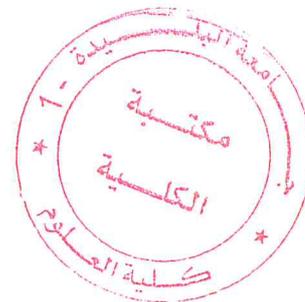
Par conséquent, IEEE 802.11p il peut obtenir une meilleure performance par rapport à l'IEEE 802.11a.

V.7.3. Section 03: Etude comparative entre les protocoles de routage AODV, DSR et OLSR avec IEEE 802.11p

Cette section est dédiée à l'évaluation des protocoles de routage AODV, DSR, et OLSR. Nous utilisons les mêmes outils et le même scénario précédent, sauf que cette fois, nous avons utilisé seulement la norme IEEE 802.11p, et on a varié les protocoles de routage. L'étude sera en fonction du temps simulé qui représente toujours le nombre de connexions. Nous comparons ces protocoles de routage en utilisant les mêmes métriques (débit, délai, et le taux de perte des données).

- Analyse et interprétation des résultats

La figure V.11 présente le débit moyen des 3 protocoles AODV, DSR et OLSR en fonction du temps simulé. La première observation est que le débit des protocoles DSR et l'OLSR remonte puis se baisse, cela revient au nombre de connexion qui augmente ce qui a généré une saturation de réseau. Et cela laisse le débit diminué et ne dépasse pas 4 mgbit. La deuxième observation, c'est que le débit du protocole AODV augmente avec un taux de changement, et avec le temps il va diminuer. Donc, lors de la première minute les débits des protocoles DSR et OLSR sont meilleurs par rapport au débit de protocole AODV. Après un peu du temps, ce dernier va représente une meilleur performance entre eux et peut atteindre le maximum de débit.



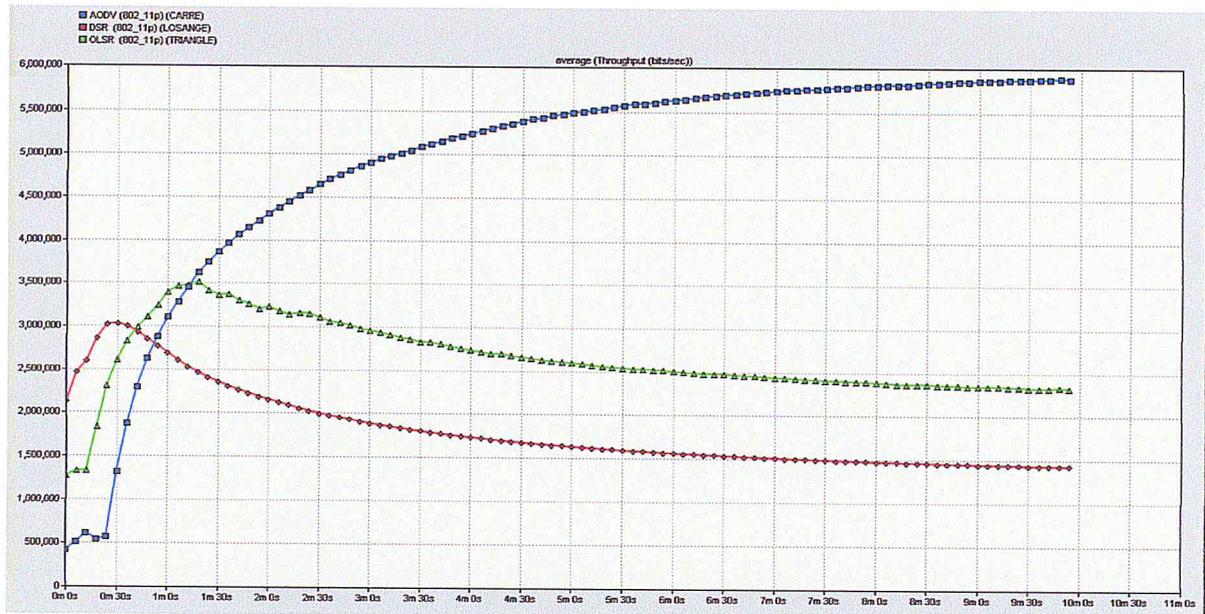


Figure V. 11. Le débit moyen en fonction de temps simulé.

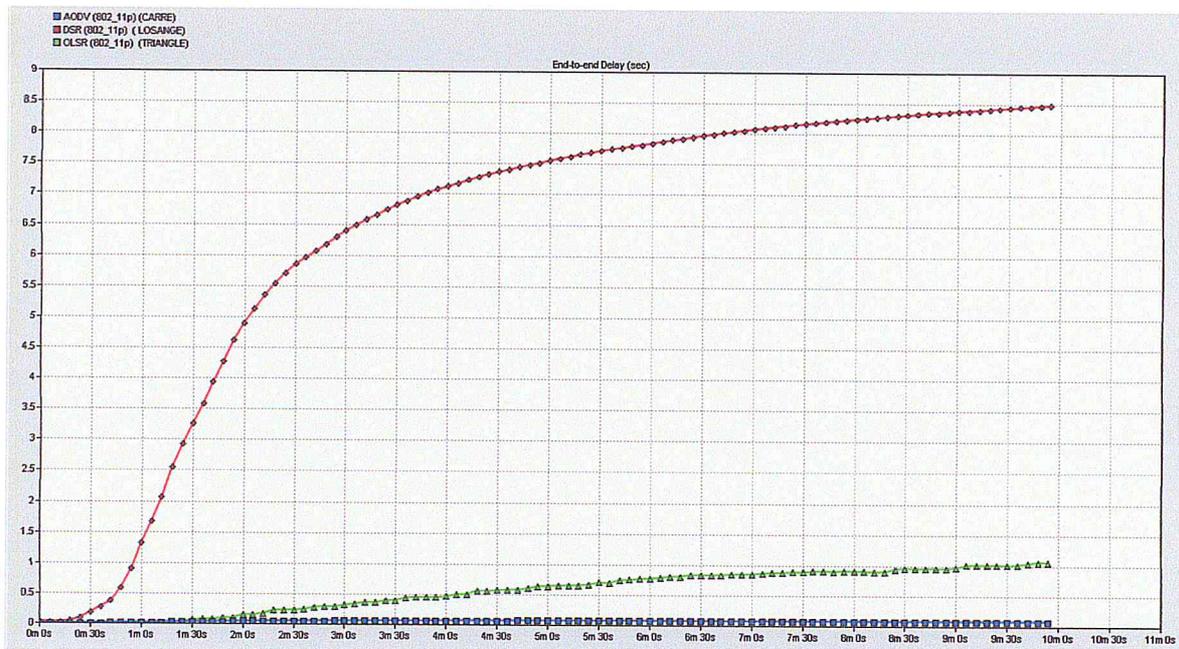


Figure V.12. Le Délai moyen en fonction de temps simulé.

La figure V.12 représente le délai moyen de bout en bout des 3 protocoles AODV, DSR et OLSR, on remarque que le DSR prend un délai plus grand que les délais de l'OLSR et de l'AODV, et cela parce que le protocole DSR est connu par sa rentabilité dans les petits réseaux mais dans les grands réseaux comme le notre, il perd son efficacité. Pour plus détailler lorsqu'on a plusieurs nœuds communiquent entre eux, le cache du DSR pour la

découverte de route sera plus énorme et pour une destination, il trouvera plusieurs routes et cela peut coûter un temps considérable pour détecter la bonne route.

Pour l'OLSR, on voit que le délai est favorable, car ce dernier offre des fonctionnalités très intéressantes tout en recherchant des routes optimales en termes de nombre de sauts, il diminue au maximum le nombre de messages de contrôle transmis sur le réseau, en utilisant la technique de sélection des MPR, et tout cela va aider pour que le délai soit bon.

En somme, l'AODV possède un meilleur délai par rapport à DSR et OLSR pour les raisons suivantes :

- le mécanisme qui découvre les routes est rapide,
- la mise à jour rapide de routes,
- la nature de topologie très mobile, la présence sans faille des véhicules.

En comparaison avec des autres recherches, l'OLSR est le mieux adapté au délai mais les contraintes de notre topologie ont laissé l'AODV en prendre le dessus.

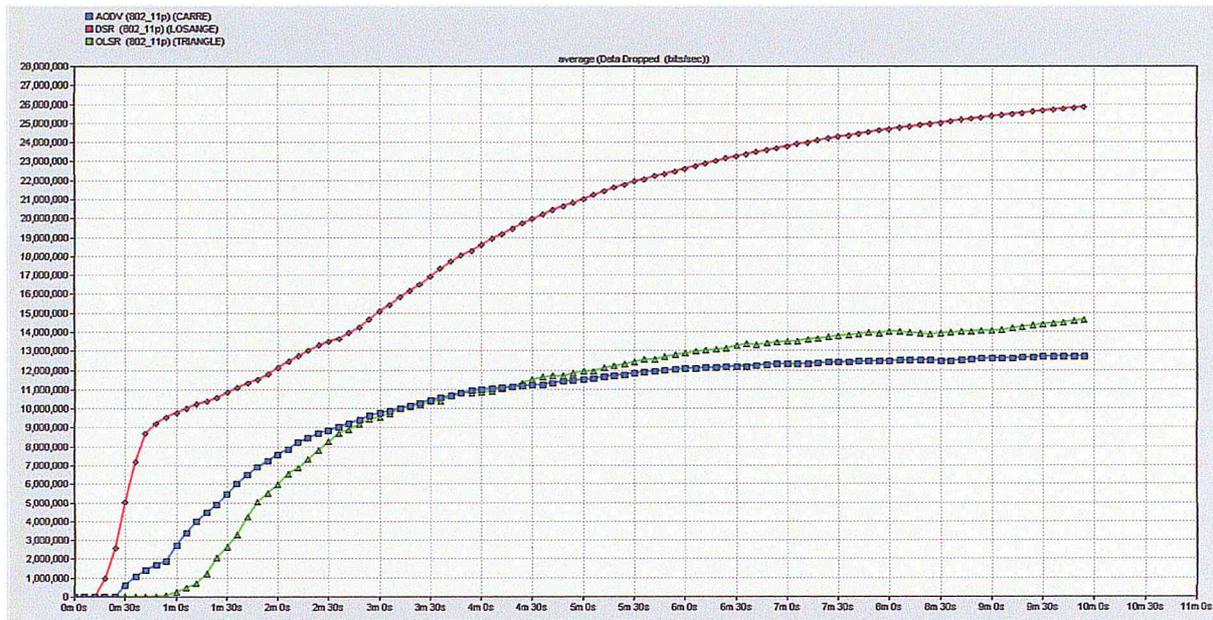


Figure V.13. Le taux de perte de données en fonction de temps simulé.

La figure V.13 représente le taux de perte de données avec les trois protocoles de routage, on remarque que le taux de perte de données avec le protocole DSR est plus grand qu'AODV et OLSR. Mais entre les deux derniers on voit une approche de taux de perte des données. Dans les premières minutes OLSR est mieux parce qu'il possède une perte de données moins que

l'autre, mais à partir de la 4^e minute OADV devient le meilleur. Donc, on déduit que OLSR est meilleur que OADV dans le cas où le nombre de connexion est petit, et le vice versa. D'autre part OLSR et AODV ont de meilleures performances en terme de taux de paquets de donnée lorsqu'on les compare avec DSR.

D'après les quatre résultats obtenus dans cette partie, on conclure que le protocole réactif AODV a la meilleure performance dans le cas de topologie très mobile et un réseau stable représente une voie autoroutière. En plus, Le protocole OLSR a une bonne performance aussi et cela est expliqué par leurs caractéristiques proactives. D'autre part le protocole DSR est déconseillé d'utiliser dans ce genre d'environnement, à cause de son mécanisme d'utiliser des caches pour découvrir les routes, cela va dégrader ses performances. Peut-être dans une zone urbaine le DSR deviendra plus efficace mais dans les environnements autoroutiers est déconseillé à l'utiliser.

V.7.4. Section 04: l'impact de la vitesse sur le protocole de routage AODV avec le standard l'IEEE 802.11p

Dans cette partie, nous allons étudier l'influence de la vitesse sur les protocoles de routage, pour cela on a choisis l'AODV comme un exemple et tous les véhicules sont équipés par l'IEEE 802.11p.

Nous utilisons les paramètres de simulation présentés dans le tableau IV.1 la topologie B

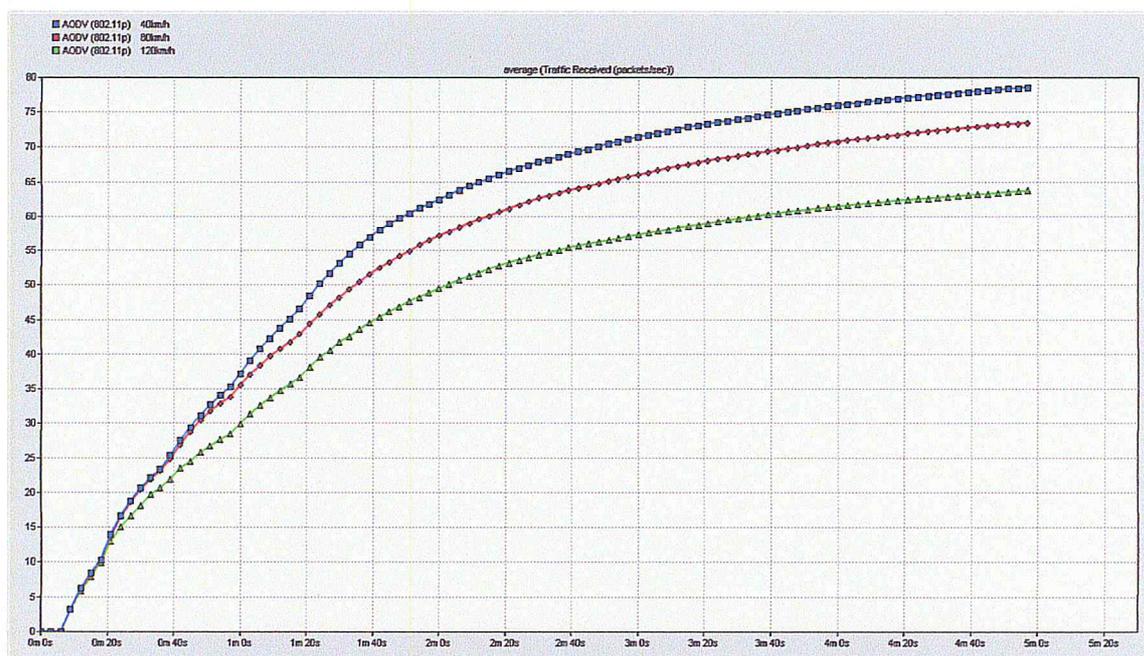


Figure V.14. Trafic reçu (paquet/sec) en fonction de temps simulé.

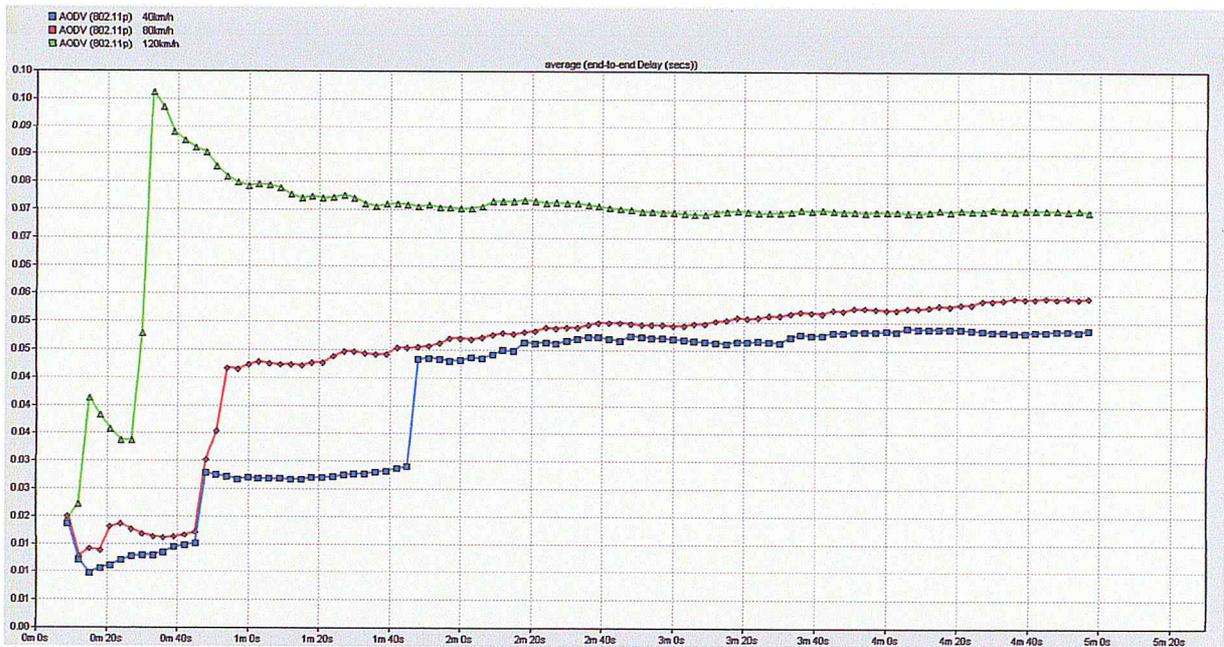


Figure V.15. Moyenne de délai de bout en bout en fonction de temps simulé.

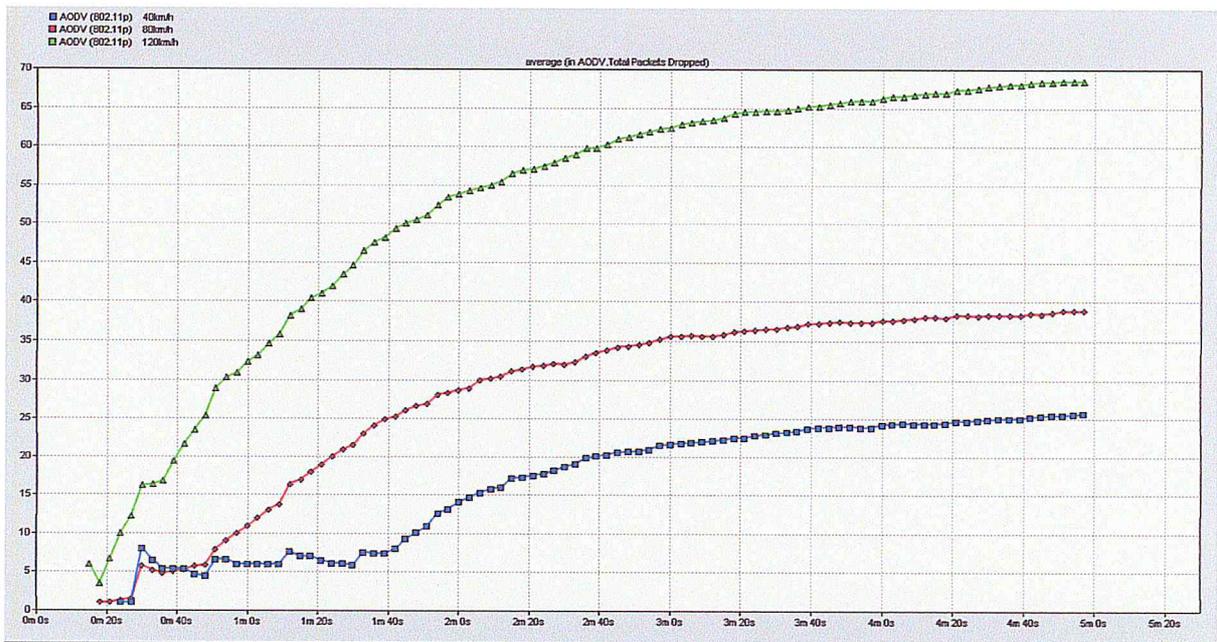


Figure V.16. Moyenne de perte de paquet en fonction de temps simulé.

• Analyse et interprétation des résultats

On note que le trafic reçu est le nombre de paquets atteint sa destination avec succès. Dans la figure IV.12 on représente le trafic reçu avec les 3 vitesses choisies (40 km/h, 80 km/h, 120 km/h). Après l'analyse du graphe, on remarque que:

- Le trafic reçu dans les 3 cas augmente ceci est logique dans la mesure où le nombre de connexion s'accroît aussi.
- Le trafic reçu avec une vitesse de 40 km/h > trafic reçu avec 80 km/h > trafic reçu avec 120 km/h, cela est juste quel que soit le nombre de véhicules connectés.

A partir de cette analyse, on déduit que lorsque la vitesse augmente, le trafic reçu diminue. Donc, pour le même trafic envoyé, on a obtenu 3 trafics reçus différents à cause de l'impact de vitesse.

La figure IV.13 présente le délai de bout en bout en fonction de temps simulé (300 s) avec les 3 vitesses mentionnées, on remarque que:

- Le délai quel que soit le degré de la vitesse, le délai augmente car la charge de trafic devient plus grande dans le temps.
- Le délai de bout en bout du cas 40 km/h < le délai du cas 80 km/h < le délai du 120 km/h et cela est juste quel que soit le nombre de connexions.

On conclure qu'au fil de l'augmentation de la vitesse, le délai s'accroît de plus en plus.

La figure IV.14 désigne le nombre de paquets perdus dans les 3 phases de vitesse, l'analyse s'interprète dans deux points :

- Dans les 3 degrés de vitesse, la perte de paquets s'augmente (Nombre de connexion s'élève).
- Perte de paquets (40 km/h) < Perte de paquets (80 km/h) < Perte de paquets (120 km/h) .

Le résultat qu'on peut déduire de ce qui précède, c'est que si la vitesse augmente, la perte de paquets est aussi augmentée.

V.8. Conclusion

Il existe une grande variété de simulateurs de réseau. On cite par exemple Network Simulator 2 et son extension « sans fil », OPNET...etc. Ceux-ci permettent de simuler une topologie dans laquelle il est possible de faire transiter des données et pour tester un protocole de routage, on a recours souvent à la simulation. Pour cela on a utilisé OPNET pour simuler et analyser les résultats obtenus.

Après nous avons détaillé en expliquant comment implémenter l'EDCA dans l'IEEE 802.11p et nous avons défini les valeurs d'accès pour chaque catégorie.

Et en ce qui concerne notre simulation, nous l'avons partagée en 4 grandes lignes qui sont l'évaluation de performance de l'EDCA dans l'IEEE 802.11p avec le métrique de délai après nous avons fait une comparaison avec IEEE 802.11a et IEEE 802.11p, après on a procédé à une étude comparative des trois protocoles de routage AODV, DSR et OLSR et on a terminé avec l'analyse de l'impact de vitesse sur un réseau équipé par IEEE 802.11p et le protocole de routage AODV.

Lorsque nous avons évalué l'EDCA dans l'IEEE 802.11p, nous avons noté dans le cas de 802.11a l'absence du service de priorité mais après l'implémentation de l'EDCA dans l'IEEE 802.11p, on a constaté qu'il y avait vraiment une priorité d'accès pour chaque catégorie, la première "voice", seconde "video", troisième "besteffort" et la dernière "background".

Après avoir comparé l'IEEE 802.11a et l'IEEE 802.11p dans le cadre de débit moyen, délai de bout en bout et la perte de données, il était clair que l'IEEE 802.11p est beaucoup mieux que l'IEEE 802.11a car beaucoup de paramètres sont entrées en compte et plus particulièrement la vitesse.

La 3^e section a démontré que le DSR est défavorable dans le cas de topologie qui représente un environnement autoroutier. Il est mieux d'utiliser l'AODV comme protocole de routage et on peut même dire que l'OLSR est aussi utile parce que l'analyse de ce protocole avec les 3 métriques (débit, délai et perte de données) a prouvé l'efficacité de ces deux protocoles.

La dernière simulation manifeste que l'augmentation de vitesse a une influence négative sur le délai de bout en bout, le trafic reçu et le taux de perte de paquets. Mais malgré cet impact de vitesse, le standard IEEE 802.11p garantit toujours la transmission des données entre les véhicules parce qu'il a été développé pour subir une vitesse qui peut atteindre jusqu'à les 200 km/h.

Conclusion générale

Conclusion générale et perspectives

Les avancées technologiques dans le domaine de télécommunication et dans l'industrie automobiles progressent de jour en jour, et les véhicules intelligents sont déjà dans nos routes.

Les réseaux Ad Hoc des véhicules (VANETs) sont à la base du système de transport intelligent. En effet, les VANETs sont une classe émergente des réseaux mobiles Ad Hoc (MANET) permettant les échanges de données entre les véhicules. Ils suscitent un intérêt certain dans le but d'améliorer la sécurité et l'efficacité des transports routiers ainsi que l'amélioration du confort de l'utilisateur en lui fournissant une multitude des services.

Aujourd'hui, On ne cherche plus comment on peut transmettre des données d'un véhicule à un autre. La préoccupation principale est d'améliorer les standards et les protocoles existants pour une meilleure performance des VANETs, et pour pouvoir apporter une certaine qualité de service pour les trafics prioritaires par rapport aux autres.

Notre travail se rapporte surtout à l'étude des performances des réseaux VANETs de façon générale, nous l'avons divisé en trois sections :

- Une évaluation du mécanisme d'accès EDCF 802.11p en termes délai de bout en bout en fonction de la vitesse des véhicules.
- Une comparaison de performance entre le standard IEEE 802.11 a et 802.11 p.
- Une comparaison de performance entre les quatre protocoles Ad-Hoc, AODV, DSR, et OLSR, qui appartient à deux classes différentes.

Il est important de signaler que les tests sont effectués dans un mode de communication V2V et avec les mêmes paramètres.

Nous avons montré, que l'EDCF proposé par l'IEEE 802.11p offre un moyen très efficace pour apporter des services prioritaires, et pour cela nous avons pu les organiser par priorité comme suit (voice, video, besteffort, background), cependant nous avons noté une dégradation des performances dans le cas où les vitesses très élevées. Les résultats de la deuxième manipulation montrent que IEEE 802.11p a une meilleure performance que celle d'IEEE 802.11a dans les trois évaluations mesures (Débit Moyen, Perte de paquets, et Délai Moyen de Bout en Bout). Enfin d'après les résultats de dernière manipulation nous pouvons conclure que le protocole AODV et OLSR de couche MAC IEEE802.11p pour les communications V2V ont de meilleures performances lorsqu'on les comparant avec DSR.

Conclusion générale et perspectives

Comme perspective du travail présenté, nous pourrions comparer différentes familles de protocoles de routages, et d'améliorer si possible un de ces protocoles en l'adaptant aux réseaux VANETs, ou proposer un protocole de routage dédié au VANET. Par ailleurs, les futurs travaux nous essaieront d'évaluer les performances des protocoles de routage ad hoc avec différents modèles de mobilité et différent types de trafic notamment le trafic de type TCP.

Références Bibliographiques

- [1] MAGLARAS, Leandros A., AL-BAYATTI, Ali H., HE, Ying, et al. Social internet of vehicles for smart cities. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2016, vol. 5, no 1, p.3.
- [2] RENJIFO HERRERA, David Leonardo. Simulation of basic multi-hop broadcast techniques in vehicular Ad-Hoc networks using veins simulator. 2016. Thèse de maîtrise. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [3] VEGNI, Anna Maria, BIAGI, Mauro, et CUSANI, Roberto. Smart vehicles, technologies and main applications in vehicular ad hoc networks. INTECH Open Access Publisher, 2013.
- [4] TARGE, Pallavi A. et SATONE, M. P. Real-Time Intelligent Transportation System based on VANET. 2016.
- [5] SOFIANE, GRICH. Contribution à la Qualité de Service dans les réseaux VANET. 2015. Thèse de doctorat. Université d'Oran.
- [6] ALLAL, Salim. Optimisation des échanges dans le routage géocast pour les réseaux de Véhicules Ad Hoc VANETs. 2014. Thèse de doctorat. Université Paris-Nord-Paris XIII.
- [7] HERNANDEZ-JAYO, Unai, MAMMU, Aboobeker Sidhik Koyamparambil, et DE-LAIGLESIA, Idoia. Reliable Communication in Cooperative Ad hoc Networks. In: Contemporary Issues in Wireless Communications. InTech, 2014.
- [8] BEKTACHE, Djamel. Application et Modélisation d'un protocole de communication pour la sécurité routière. 2014. Thèse de doctorat. Université d'Oran.
- [9] A. Gaye, K. Konate, N. : "Analyse Du DOS Dans Les Reseaux Mobiles Ad Hoc (Manets)", Information technology, Omn.Univ.Europ, (2015).
- [10] M. Khaled, B.Saïd ,M .Yacine ,D. Younes, «les réseaux MANET» , Université des Sciences et de la Technologie - HOUARI BOUMEDIENE.
- [11] K. LEE, « Modèle global pour la Qualité de Service dans les réseaux de FAI : intégration de DiffServ et de l'ingénierie de trafic basée sur MPLS », Thèse, Ecole Centrale de Lille, 2006.
- [12] RIVATON, Olivier. Le routage de l'information dans les réseaux véhiculaires mobiles. 2016. Thèse de doctorat. Université Laval.
- [13] TCHEPNDA, Christian. Authentification dans les réseaux véhiculaires opérés. 2008. Thèse de doctorat. Télécom ParisTech.
- [14] R. Meraihi, SM. Senouci, D. Meddour, M. Jerbi « Réseau mobile Ad Hoc et réseaux de capteurs sans fil », chapitre « Communication véhicule à véhicule : applications et

Références Bibliographiques

perspectives », Collection réseaux et Télécommunication du traité IC2 (information-commande-Communication), Edition Hermès ,2006

[15] J-P Hubaux, « Vehicular Networks: How to Secure Them », 01H0D_6XPPHU_6FKRRO_Klagenfurt, Juillet 2005.

[16] Stefano Busanelli, Gianluigi Ferrari, and Luca Veltri, "Short-lived Key Management for Secure Communications in VANETs", 11th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), pp. 613-618, August 23-25, 2011- St. Petersburg, Russia. Print ISBN: 978-1-61284-668-2

[17] Youngho Park and Kyung-Hyune Rhee, Chul Sur, "A Secure and Location Assurance Protocol for Location-Aware Services in VANETs", 50th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), pp.456-461, June 30 - July 2, 2011- Seoul, Korea

[18] Q. Xu and D. Jiang, "Design and analysis of highway safety communication protocol in 5.9 GHz dedicated short range communication spectrum," *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual*, vol. 4, pp. 2451-2455, Apr. 2003.

[19] J. Santa, A. F. Gómez-Skarmeta, and M. Sánchez-Artigas, "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.

[20] Kevin C. Lee, Uichin Lee, Mario Gerla, «Survey of Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks », IEEE journal on selected areas in communications, Vol. 17, no.8, August 2009.

[21] M. JERBI, "Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections," UNIVERSITE D'EVRY VAL D'ESSONNE thèse de doctorat, 2008.

[22] BOUGUER, S. (2014). ETUDE-ET-SIMULATION-COMPARATIVE-ENTRE-LES-RESEAUX-DE-CAPTEURS-SANS-FILS-TRADITIONNELS-ET-LES-RESEAUX-DE-CAPTEURS-VEHICULAIRES (Doctoral dissertation).

[23] CHAKROUN, Omar. Techniques de contrôle de congestion et de dissémination d'informations dans les réseaux véhiculaires. 2014.

[24] Florent KAISER, « Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes », Ecole Doctorale UNIV PARIS SUD 11, Juin 2010.

Références Bibliographiques

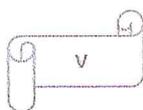
- [25] Jonathan PETIT, «Surcoût de l'authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires», Université Toulouse III - Paul Sabatier, 13 Juillet 2011.
- [26] M. JERBI, "Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections," UNIVERSITE D'EVRY VAL D'ESSONNE thèse de doctorat, 2008.
- [27] M. Fiore, J. Harri, F. Filali, and C. Bonnet, "Vehicular Mobility Simulation for VANETs," in *Proceedings of the 40th Annual Simulation Symposium*, Norfolk, VA , 2007, pp. 301-309.
- [28] N. Pathak and U. Shrawankar, "Secured Communication in Real Time VANET," in *Proceedings of the 2009 Second International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology*, Nagpur , 2009, pp. 1151-1155.
- [29] M. MERAIHI Yassine , ROUTAGE DANS LES RESEAUX VEHICULAIRES (VANET), Boumerdès 2011.
- [30] Projet SmartPark. <http://smartpark.epfl.ch>. Projet SmartPark : Parking Made Easy, 2014.
- [31] B. Torsten, D. Michel, E. José, et S. Thomas, *End-to-End Quality of Service Over Heterogeneous Networks*. Germany: Springer, 2008.
- [32] Anderson, J. M., Nidhi, K., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2014). *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. Rand Corporation.
- [33] BLAYA VILARDEBÓ, Pedro Luís. Investigation on vehicular ad hoc networks: 802.11 p vs LTE architecture. 2016. Thèse de baccalauréat. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [34] IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area network - Specific requirement, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 6 : Wireless Access in Vehicular Environments. IEEE Computer Society, 2010.
- [35] JIANG, Daniel et DELGROSSI, Luca. IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In: *Vehicular Technology Conference*, 2008. VTC Spring 2008. IEEE. IEEE, 2008. p. 2036-2040.

Références Bibliographiques

- [36] CHAKROUN, M. O. (2014). *Techniques de contrôle de congestion et de dissémination d'informations dans les réseaux véhiculaires* (Doctoral dissertation, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE).
- [39] NOORI, Hamed. Modeling and Simulation of Vehicle to Vehicle and Infrastructure Communication in Realistic Large Scale Urban Area. 2014.
- [40] NOORI, Hamed. Modeling and Simulation of Vehicle to Vehicle and Infrastructure Communication in Realistic Large Scale Urban Area. 2014.
- [41] ECKHOFF, David et SOMMER, Christoph. A multi-channel IEEE 1609.4 and 802.11 p EDCA model for the veins framework. In: Proceedings of 5th ACM/ICST international conference on simulation tools and techniques for communications, networks and systems: 5th ACM/ICST international workshop on OMNet++. (Desenzano, Italy, 19-23 March, 2012). OMNeT. 2012.
- [42] CHAUDET, Claude. Protocole IEEE 802.11: qualité de service. Techniques de l'ingénieur, Télécoms A, 2005.
- [43] SUN, Ning. Performance study of IEEE 802.11 p for vehicle to vehicle communications using opnet: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of master of engineering in telecommunications and network at Massey University, Auckland, New Zealand. 2011. Thèse de doctorat. Massey University.
- [44] Ouazene, N. (2009). *Pour une QoS au niveau de la Couche MAC dans les Réseaux Sans Fil* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [45] KHAIRNAR, Vaishali D. et KOTECHA, Ketan. Performance of vehicle-to-vehicle communication using IEEE 802.11 p in vehicular ad-hoc network environment. arXiv preprint arXiv:1304.3357, 2013.
- [46] IEEE 802.11 Working Group. (2010). IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments. *IEEE Std, 802(11)*.
- [47] —, IEEE Standard for Information technology - Local and metropolitan area networks— Specific requirements— Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5 : Enhancements for Higher Throughput, *IEEE Std.*, 2009.

Références Bibliographiques

- [48] B. Tavli, W. Heinzelman; "Mobile Ad Hoc Networks: Energy-Efficient Real-Time Data Communications"; Netherlands, Springer, ISBN-13 978-1-4020-4633-9, 2006.
- [49] F. Ducatelle; "Adaptive Routing in Ad Hoc Wireless Multi-hop Networks"; PHD thesis, Università della Svizzera italiana, 2007.
- [50] R. Meraihi ; "Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux Ad Hoc" ; Thèse de doctorat, École nationale supérieure des télécommunications, Paris, 2004.
- [51] BADACHE, Nadjib, DJENOURI, Djamel, DERHAB, Abdelouahid, et al. "Les protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad hoc. Revue RIST, 2002, vol. 12, no 2, p. 77-112.
- [52] S. Corson and J. Macker. Mobile Ad hoc Networking (MANET) : "Routing Protocol Performance, Issues and Evaluation Considerations". Request for Comments 2501, Internet Engineering Task Force, January 1999.
- [53] I. Chlamtac, M. Conti, and J. Liu. "Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges". *Ad Hoc Networks*, pp13–64, 2003.
- [54] E.M Royer and C-K Toh. "A review of current routing protocols for adhoc mobile wireless networks". *IEEE Personal Communications*, Apr. 1999.
- [55] T.LEMLOUMA. "Le Routage dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc", Université Houari Boumediene, Institut d'Informatique, Mini projet, Sep2000.
- [56] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols," In Proceedings of the 4th international conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), 1998, pp. 85–97.
- [57] C. E. Perkins, E. E. Royer, S. R. Das, and M. K. Marina, "Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks," In *IEEE Personal Communications*, Feb 2001, vol. 8, pp. 16–28.
- [58] Ameer Ali, Dr. Latha C.A ,Performance Analysis of Ad-Hoc Routing Protocols for VANET Using NS2 Simulation , Dept. of CSE, Don Bosco Institute of Technology, Bangalore, Karnataka INDIA,2015.
- [59] Fabrice Valois, « Introduction à la simulation de réseaux Où il sera question de modélisation, de simulation et de l'usage d'OPNET Modeler », dernière m-a-j : le 27/09/2006.
- [60] Reinforce Networking Theory with OPNET Simulation Jinhua Guo, Weidong



Références Bibliographiques

Xiang, and Shengquan Wang University of Michigan-Dearborn, MI, USA 2007

[61] QoS Forum. QoS protocols and architectures. White paper of QoS Forum, July 1999.
<http://www.qosforum.com>

[62] E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, H. Sandick, "A Framework for QoS-based Routing in the Internet", IETF RFC2386

[63] SHARMA, Ritika et GUPTA, Kamlesh. Comparison based performance analysis of UDP/CBR and TCP/FTP traffic under AODV routing protocol in MANET. International Journal of Computer Applications, 2012, vol. 56, no 15.

[64] Fabrice Valois, « Introduction à la simulation de réseaux Où il sera question de modélisation, de simulation et de l'usage d'OPNET Modeler », dernière m-a-j : le 27/09/2006.

[65] Reinforce Networking Theory with OPNET Simulation Jinhua Guo, Weidong Xiang, and Shengquan Wang University of Michigan-Dearborn, MI, USA 2007.

[66] HOLTER, Kenneth. Comparing AODV and OLSR. folk. Uio. no/kenneho/studies/essay/essay. html, 2005, p. 1-19.

[67] IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments. (2015). Role of IEEE 1609 family. Consulté le 05/08/2017 de <https://gauravpathak07.wordpress.com/2015/06/20/wave-brief-role-of-ieee-/1609-family>

[68] T. Kosch, « Ad-hoc Connected Vehicles », 0L1H0D_6XPPHU_6FKRRO, Klagenfurt, Juillet 2005.

[70] H. HO Yao, H. HO Ai, A. HUA Kien. "Routing protocols for inter-vehicular networks: A comparative study in high-mobility and large obstacles environments," Computer Communications Journal (ComCom), 2008.

[71] C. Chiang, H. Wu, W. Liu, and M. Gerla: « Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks In Mobile Wireless Networks», The IEEE Singapore International Conference on Networks, 1997.

[72] Vincent D. Park and M. Scott Corson. « A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks». In INFOCOM (3), pages 1405–1413, 1997.

[73] C-K Toh. « A Novel Distributed Routing Protocol To Support Ad-Hoc Mobile Computing». In IEEE 15th Annual Int'l. Phoenix Conf. Comp. and Commun, 1996.

Références Bibliographiques

- [74] Dominique Dhoutaut, « Etude du standard IEEE 802.11 dans le cadre des réseaux ad hoc: de la simulation à l'expérimentation » L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon Thèse Décembre 2003.
- [75] A. A. Kahina, *Modélisation et étude de performances dans les réseaux VANET*. PhD thesis, l'université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2012.
- [76] KSENTINI, A. (2005). *Quality of service (QoS) in IEEE 802.11-based Wireless Local Area Networks (WLAN) Qualité de Service (QoS) dans les réseaux locaux sans fil basés sur la technologie IEEE 802.11* (Doctoral dissertation, Université de Versailles).
- [77] O. Kayis and T. Acarman, "Clustering formation for inter-vehicle communication," Intelligent Transportation Systems Conference, IEEE, pp. 636–641, 2007.
- [78] Manvi, S.S.; Kakkasageri, M.S.; Mahapurush, C.V.; , "Performance Analysis of AODV, DSR, and Swarm Intelligence Routing Protocols In Vehicular Ad Hoc Network Environment, " Future Computer and Communication, 2009. ICFCC 2009. International Conference on , vol., no., pp.21-25, 3-5 April2009 doi: 10.1109/ICFCC.2009.122
- [79] Wei,X.; Qing-Quan, L.;; "Performance evaluation of data disseminations for vehicular ad hoc networks in highway scenarios," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008.
- [80] S. Jaap, M. Bechler, L. Wolf, "Evaluation of Routing Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks in Typical Road Traffic Scenarios, "Proceedings of the 11th EUNICE Open European Summer School on Networked Applications, Colmenarejo, Spain, July 2005.
- [81] P.Parvathi, —Comparative Analysis of CBRP, AODV, DSDV Routing Protocols in mobile Ad-hoc Networks, International Conference on Computing, Communication and applications (ICCCA), pp. 1 – 4, 2012
- [82] Hemant Kumar Garg, P.C.Gupta, —Minimization of Average Delay, Routing Load and Packet Loss Rate in AODV Routing Protocoll,International Journal of Computer Applications, Volume 44, pp.14-17, April 2012.
- [83] IEEE 802.11e Group: "*Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements*", IEEE Computer Society, IEEE Std 802.11e, 2005.
- [84]L. Romdhani, Qiang Ni & T. Turletti."Adaptive EDCAF : enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks". 2003 IEEE Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003.

Références Bibliographiques

- [85] M. Malli, Qiang Ni, T. Turletti & C. Barakat. « Adaptive fair channel allocation for QoS enhancement in IEEE 802.11 wireless LANs.” 2004 IEEE International Conference on Communications, June 2004.
- [86] Yang Xiao, Haizhon Li & Sunghyun Choi. “Protection and guarantee for voice and video traffic in IEEE 802.11e wireless LANs”. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFO-COM 2004, March 2004.
- [87] N. Ramos, D. Panigrahi & S. Dey. “Quality of service provisioning in 802.11 networks : challenges, approaches, and future directions”. IEEE Network, July-Aug. 2005.
- [88] JengFarn Lee, Wanjiun Liao & Meng Chang Chen. “A per-class QoS service model in IEEE 802.11e WLANs”. Second International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks, 2005.
- [89] CERTU. (2009). Panneaux a messages variables en milieu urbain et periurbain (les). Consulté le 05/07/2017 de <http://www.certu-catalogue.fr/panneaux-a-messages-variables-en-milieu-urbain-et-periurbain-les.html>
- [91] Poole, I. (2015). Radio-electronics. Consulté le 22/07/2017 de <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11a.php>

Table des matières

<i>Liste des figures et des Tableaux.....</i>	I
<i>Liste des Acronymes.....</i>	III
<i>Introduction générale</i>	01

Chapitre I :

Généralité sur les véhicules intelligents

II.1. Introduction.....	3
I.2. Ville intelligente.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Transport intelligent.....	3
I.2.3. Véhicules intelligents.....	4
I.3. Systèmes intelligents de transport.....	4
I.3.1. Définition.....	4
I.3.2. Les technologies actuelles au service des STIs.....	5
I.3.2.1 Panneaux d'informations.....	6
I.3.2.2 Communication par satellite.....	6
I.3.2.3 Communications courtes-distances sans fil.....	6
I.3.3. Les applications des STIs.....	6
I.3.3.1 Sécurité des usagers.....	7
I.3.3.2 Gestion du trafic.....	7
I.3.3.3 Amélioration du confort de la conduite.....	8
I.4. Conclusion.....	8

Chapitre II: Les Réseaux Ad-Hoc de véhicules

II.1 Introduction.....	9
II.2 Les réseaux mobiles Ad-Hoc (MANET).....	9
II.3 les réseaux VANET (Véhicular Ad hoc NETwork).....	9
II.3.1 définition.....	9
II.3.2. Historique.....	10

II.3.3. Les composants des VANETs.....	11
II.3.3.1. Le Nœud du réseau VANET.....	11
II.3.3.2. TA (Trusted Authority).....	12
II.3.3.3. Station de bord de la route (RSU, Roadside Unit).....	12
II.3.3.4. Les unités embarquées (OBU, On Board Unit).....	13
II.3.4. Les modes de communication dans les réseaux VANETs.....	13
II.3.4. 1. Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V).....	13
II.3.4. 2. Mode de communication de Véhicule à Infrastructure (V2I).....	14
II.3.4. 3. Mode de Communications hybrides.....	14
II.3.5. Environnement des VANET.....	14
II.3.5.1. Environnement urbain.....	15
II.3.5.2. Environnement rural.....	15
II.3.5.3. Environnement autoroutier.....	15
II.3.6. Les caractéristiques des VANETs.....	15
II.3.6.1. La capacité d'énergie et stockage.....	15
II.3.6.2. La topologie et la connectivité.....	15
II.3.6.3. Le modèle de mobilité.....	16
II.3.6.4. La sécurité et l'anonymat.....	16
II.3.7. Applications.....	16
II.3.7.1. Applications pour la sécurité routière.....	16
II.3.7.2. Applications pour les systèmes d'aide à la conduite et les véhicules coopératifs.....	16
II.3.7.3. Applications de confort du conducteur et des passagers.....	17
II.4. Conclusion.....	17
<i>Chapitre III :Standards de communication dans les VANETs et la qualité de service</i>	
III.1. Introduction.....	19
III.2. Les communications dédiées à courte portée DSRC.....	19

III.3.Norme IEEE1609 pour l'accès sans fil dans les environnements de véhicules (WAVE).....	20
(i) IEEE P1609.0.....	21
(ii) IEEE 1609.1- 2006.....	21
(iii) IEEE 1609.2-2006.....	21
(iv) IEEE 1609.3-2006.....	22
(v) IEEE 1609.4- 2006.....	22
(vi) IEEE P1609.11.....	22
III.4.La norme IEEE 802.11a.....	22
III.5.La norme IEEE 802.11p.....	23
III.5.1. la Couche PHY IEEE 802.11p.....	23
III.5.2. Couche MAC 802.11p.....	24
III.5.2.1. La Fonction de Coordination Distribuée (DCF).....	25
III.6. La qualité de service et 802.11.....	27
III.6.1. Définition La qualité de service QoS.....	27
III.6.2. Niveaux de service.....	28
III.6.3. Critères ou paramètres de qualité de service.....	28
III.6.3.1. Débit Moyen (Average Throughput).....	28
III.6.3.2. Délai Moyen de Bout en Bout (Average End to End Delay).....	28
III.6.3.3. Le Rapport de Livraison des Paquets (Package Delivery Ratio PDR).....	28
III.6.3.4. Gigue (variation de retard en anglais jitter).....	28
III.6.3.5. Perte de paquet (en anglais packet loss).....	29
III.6.4. Présentation d'IEEE 802.11e.....	29
III.6.4.1. La Fonction de Coordination Distribuée Améliorée (EDCF).....	30
III.7. Conclusion.....	32

Chapitre IV:les protocoles de routage dans les VANets

IV.1. introduction.....	35
IV.2. Définition du routage.....	35
IV.3. Classification des protocoles de routage.....	35
III.3. 1. Routage à plat (Flat routing).....	36
III.3.3.1. Les protocoles de routage proactifs.....	36
III.3.3. 2. Protocoles de routage réactifs.....	37
III. 4. Éventail des principaux protocoles de routage en réseaux Ad Hoc.....	37

III. 4.1. Présentation du protocole de routage DSR (Dynamic Source Routing).....	37
III. 4.1.1. Les Performances du protocole de routage DSR.....	40
III. 4.2. Présentation du protocole de routage AODV (Ad hoc On demand Distance Vector).....	41
III. 4.2.1. Les Performances du protocole de routage AODV.....	44
III. 4.3. Présentation du protocole de routage OLSR(Optimized Link State Routing).....	45
III. 4.3.1. Les Performances du protocole de routage OLSR.....	46
III.5. Autres protocoles.....	46
III.6. Conclusion.....	47
Conclusion Générale.....	49
<i>Chapitre V :La simulation et la présentation des résultats</i>	
V.1. Introduction.....	46
V.2. Simulateur de réseau.....	46
V.3. Environnement de simulation: OPNET MODELER.....	46
V.4. La structure d'OPNET.....	47
V.5. Présentation des topologies.....	47
V.6. Implémentation de 802.11p sous OPNET.....	50
V.7. Présentation de la simulation et les Résultats	51
V.7.1. Section 01 : Evaluation de l'EDCF 802.11p.....	51
V.7.2. Section 02 : Evaluation de performances des standards IEEE 802.11a et IEEE 802.11p.....	51
V.7.2. Section 02 : Evaluation de performances des standards IEEE 802.11a et IEEE 802.11p	53
V.7.3. Section 03: Etude comparative entre les protocoles de routage AODV, DSR et OLSR avec IEEE 802.11p.....	56
V.7.4. Section 04: l'impact de la vitesse sur le protocole de routage AODV avec le standard l'IEEE 802.11p.....	59
V.8. Conclusion.....	61

