



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Spécialité : *réseaux et télécommunication*

Par :

Benmoumene Safaa et Boukhaloua Fatima

Sur le thème

Simulation et analyse de protocoles de routage dans les réseaux VANET

Soutenu publiquement le .. / 0 / 2019 à Tiaret devant le jury composé de :

M me Lakhdari Aicha	Université de Tiaret	Président
Mr Bengheni Abd elmalek	Université Tiaret	Examineur
M r Bakkar Khaled	Université Tiaret	Encadreur

Dédicaces

Avant tout je remercie Allah

Qui m'a donné la force et le courage pour mener à terminer ce

Travail.

je dédie ce travail

*À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre
À cet source de tendresse, de patience et de générosité
À ma mère*

*À Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues
années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

Merci pour tout.

*À mes chères frères, je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur
de réussite et de sérénité*

À mes sœurs, vous avez toujours présente pour les bons conseils

À mes amis Que dieu vous bénisse pour tout ce

Dont vous avez fait pour moi.

*À mon binôme **Fatima** et sa famille.*

Benmoumene Safaa

Dédicaces

Avant tout je remercie Allah

Qui m'a donné la force et le courage pour mener à terminer ce

Travail.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chères parents, pour leurs sacrifices,

pour leurs patiences, leurs amours et leurs confiances. Que Allah

vous protège et vous donne longue vie. Je vous aime beaucoup et

sans limites.

A mes frères et ma sœur et tous mes amis pour chaque mot reçu,

chaque geste d'amitié, à chaque main tendue et pour toute

attention témoignée.

*A mon binôme **Safaa** et sa famille.*

Boukhaloua Fatima

Remerciements

Tout d'abord nous rendons grâce à DIEU tout puissant vers lequel vont toutes les louanges, pour nous avoir accordé la volonté, les moyens et le courage afin de mener à bien ce projet.

*C'est un grand plaisir pour nous de remercier toutes les personnes qui ont permis à ce travail d'être ce qu'il est. Nous remercions tout d'abord notre encadreur **Mr Bakkar Khaled** qui, s'est toujours montré à l'écoute tout au long de la réalisation de notre travail.*

Nous tenant également à remercier l'ensemble des membres du jury qui ont bien voulu accepter d'évaluer notre travail. On pense enfin fortement à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le réseau VANET (Vehicular Ad-hoc Network) est une nouvelle technologie fondée sur la famille des réseaux mobiles MANET. Ces réseaux sont utilisés pour répondre aux besoins de communication appliqués aux réseaux de transport pour améliorer la conduite et la sécurité routière aux utilisateurs de la route, les réseaux VANET sont caractérisés par une topologie dynamique et forte mobilité des nœuds.

Les réseaux de véhicules ad hoc sont basés sur des protocoles qui assurent l'échange d'informations et la communication entre véhicules, car il est clair que l'amélioration de la communication entre véhicules revient à déterminer l'efficacité de ces protocoles.

Afin de choisir le protocole de routage qui convient le mieux aux VANET parmi d'autres protocoles Ad hoc, ces derniers doivent être appliqués, un par un, sur le réseau. Mais vu le coût de réalisation concrète d'un VANET, et afin de pouvoir produire différents scénarios de tests, la simulation devient nécessaire avant de mettre ce système réellement en œuvre.

Notre objectif, à travers ce mémoire, est l'analyse de protocoles de routage appliqués aux réseaux dans un environnement Urbain et autoroutier, en utilisant OMNET++ et SUMO, pour déterminer le meilleur protocole en termes de délai de bout en bout, paquets perdus, des paquets envoyés et paquets reçus.

Les résultats de simulation ont montré que le protocole Diffusion probabiliste offre des meilleures performances que la diffusion et la diffusion sélective en milieu urbain et les protocoles diffusion probabiliste et Diffusion offrent des meilleures performances au milieu autoroutier.

Abstract

The Vehicular Ad-hoc Network (VANET) is a new technology from the MANET mobile network family. These networks are used to meet the communication needs applied to the transport networks to improve the driving and the road safety to the users of the road, the VANET networks are characterized by a dynamic topology and high mobility of the nodes.

Ad hoc vehicle networks are based on protocols that ensure information exchange and inter-vehicle communication, as it is clear that improving inter-vehicle communication is about determining the effectiveness of these protocols.

In order to choose the routing protocol that best suits VANETs among other Ad hoc protocols, these must be applied one by one on the network.

But given the cost of realizing a VANET, and in order to be able to produce different test scenarios, the simulation becomes necessary before actually implementing this system.

Our goal, through this memory, is the analysis of routing protocols applied to networks in an urban and highway environment, using OMNET ++ and SUMO, to determine the best protocol in terms of end-to-end delay, lost packets, packets sent and packets received.

The simulation results showed that the probability protocol offers better performance than flooding and counter in the urban environment and the probability and counter protocols offer better performance in the motorway environment.

Table de matière

Introduction Générale	1
I. Chapitre 1 :Les Réseaux Vanet	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Réseaux sans fil :.....	3
I.2.1 Définition :.....	3
I.2.2 Classification des réseaux sans fil:.....	3
I.2.2.1 . Réseaux sans fil avec infrastructure (Cellulaires):.....	3
I.2.2.2 Réseaux sans fil sans infrastructure (Ad-hoc):	4
I.3 Les réseaux véhiculaire VANET.....	5
I.4 Caractéristique des réseaux VANET	5
I.4.1 Le potentiel énergétique	5
I.4.2 L'environnement de communication et le modèle de mobilité.....	5
I.4.3 Le modèle de communication	6
I.4.4 La taille du réseau.....	6
I.4.5 Forte mobilité.....	6
I.4.6 Caractéristiques inhérentes au canal radio.....	7
I.4.7 Connectivité intermittente	7
I.4.8 Diversité de la densité	7
I.5 Les applications des réseaux VANET	7
I.5.1 Applications de gestion du trafic routier.....	8
I.5.2 Applications de confort	8
I.5.3 Applications de sécurité du trafic routier.....	8
I.6 Les modes de communications utilisé par VANET	9
I.6.1 Communication véhicule à véhicule(V2V).....	9
I.6.2 Communication de véhicule avec utilisation d'infrastructures V2I	10
I.6.3 Communication Hybride.....	11
I.7 Les noeuds d'un réseau VANET :	11
I.8 Composants d'un réseau VANET	12
I.8.1 Nœud.....	12
I.8.2 RSU	13
I.8.3 CA.....	14
I.9 Technologies d'accès sans fil VANET	14
I.10 Normes et Standardisations :	15
I.10.1 La norme DSRC (Dedicated Short Range Communications):.....	16

Table de matière

I.10.2	La norme WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments):	17
I.11	Les défis	18
I.12	Les avantages et les inconvénients des réseaux VANET	19
I.12.1	Les avantages	19
I.12.2	Les inconvénients	20
I.13	Conclusion	20
II.	Chapitre II : Protocoles de routage dans les réseaux Vanet.....	22
II.1	Introduction.....	22
II.2	Routage dans les réseaux VANET	22
II.3	Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANETs.....	23
II.3.1	Les protocoles de routage basés sur la topologie	23
II.3.1.1	Les protocoles réactifs.....	23
II.3.1.1.1	Le protocole AODV	24
II.3.1.1.2	Le protocole DSR	25
II.3.1.2	Les protocoles proactifs	25
II.3.1.2.1	Le protocole OLSR	26
II.3.1.2.2	Le protocole DSDV.....	27
II.3.1.2.3	Le protocole GSR	28
II.3.1.3	Protocoles hybrides.....	28
II.3.1.3.1	Le protocole ZRP.....	29
II.3.1.4	Comparaison les protocoles de routage proactive et réactive.....	29
II.3.2	Les protocoles de routage basés sur la géographie	30
II.3.2.1	Le protocole A-STAR.....	30
II.3.2.2	Le protocole UMB.....	31
II.3.2.3	Le protocole GyTAR	32
II.3.2.4	Le protocole VADD	32
II.3.2.5	Le protocole MORA	33
II.3.2.6	Le protocole GPSR	33
II.4	Conclusion	34
III.	Chapitre III : Simulation	36
III.1	Introduction.....	36
III.2	La Simulation des Réseaux VANET	36
III.2.1	Simulation de la mobilité dans réseau VANET	36
III.2.1.1	Les fonctionnels d'un modèles de mobilité.....	37

Table de matière

III.3	Objectif de la simulation	37
III.4	Le simulateur OMNET.....	37
III.4.1	Architecture d'OMNeT++	38
III.4.2	Les fichiers	39
III.4.2.1	Les fichiers .ned :	39
III.4.2.2	Les fichiers .ini :.....	39
III.4.2.3	Les fichiers .msg :.....	40
III.4.3	Composants d'OMNET++	40
III.5	Implémentaion.....	40
III.5.1	Environnement de travail	40
III.5.1.1	Simulation des VANET avec VEINS.....	41
III.5.1.2	Le simulateur SUMO (Simulation de la mobilité urbaine)	41
III.5.1.3	Veins (Vehicles in Network Simulator)	42
III.6	Etapas de la simulation.....	42
III.6.1	Génération du scénario de mobilité avec SUMO	42
III.6.2	Exécution de simulation :	44
III.7	Simulation des nouveaux protocoles dans VEINS	45
III.7.1	Diffusion :.....	45
III.7.2	Diffusion sélective:.....	45
III.7.3	Diffusion Probabiliste :	45
III.8	Les critères de performances :	45
III.9	Résultats de simulations :	46
III.9.1	Protocole de diffusion :	46
III.9.1.1	Conclusion.....	48
III.9.2	Protocol de diffusion sélective:	49
III.9.2.1	Conclusion:.....	50
III.9.3	Protocole diffusion probabiliste:	50
III.9.3.1	Conclusions.....	52
III.10	Comparaison entre les protocoles Diffusion, Diffusion sélective et Diffusion probabiliste: 52	
III.11	Conclusion :	54

Liste des figures et tableaux

Figure 1: Réseaux cellulaires.....	4
Figure 2: Réseaux ad hoc.	4
Figure 3: : Nœuds représentant les réseaux VANET. [4]	5
Figure 4: Technologies de communication dans les réseaux véhiculaires.	9
Figure 5: Communication véhicule à véhicule(V2V).....	10
Figure 6: Communication véhicule à infrastructure(V2I).	11
Figure 7: Communication Hybride (V2I+V2V).....	11
Figure 8: Véhicule intelligent . [12]	12
Figure 9: Le dispositif OBU (On Board Unit).[14].....	13
Figure 10: Le dispositif RSU (Road Side Unit). [14].....	13
Figure 11: Le modèle WAVE/DSRC. [17]	16
Figure 12: Canaux du standard IEEE 802.11p.	18
Figure 13: Les protocoles de routage dans les réseaux VANET.	23
Figure 14: Mécanisme de routage AODV.....	25
Figure 15: Mécanisme de routage AODV.....	29
Figure 16: Modulaire du simulateur OMNeT++	38
Figure 17: Fichier.ned	39
Figure 18: Fichier.ini	40
Figure 19: Fenêtre de la simulation de SUMO.....	41
Figure 20: Architecture générale de Veins.	42
Figure 21: importation du maposm depuis le site openstreetmap.	43
Figure 22: Fenêtre de simulation OMNET++.....	44
Figure 23: Fenêtre de simulation du SUMO.	44
Figure 24:Retransmission.....	46
Figure 25: Nombre de paquets envoyés.	47
Figure 26: Pourcentage de paquets reçus.	47
Figure 27: Pourcentage de paquets perdus.	48
Figure 28: Le délai de protocole de diffusion	48
Figure 29: Nombre de transmission	49
Figure 30: parquets envoyés.....	49
Figure 31: Le délai de protocole de diffusion sélective.....	50
Figure 32: Retransmission.....	51
Figure 33: parquets envoyés.....	51
Figure 34: Le délai de protocole de diffusion probabiliste.....	52
Figure 35: Nombre de retransmission pour les trios protocoles.....	53
Figure 36:Le délai pour chaque protocoles.	53
Tableau 1: Les composants d'OMNET++	40

Liste des abbreviations

AODV Ad hoc On Demand Distance Vector.

A-STAR Anchor-based Street and Traffic Aware Routing.

AU Application Unit.

CA Central Authority.

CDMA Code Division Multiple Access.

CDMA Code Division Multiple Access.

DSDV Destination Sequenced Distance Vector.

DSR Dynamic Source Routing.

DSRC Dedicated Short Range Communications.

DREAM Distance Routing Effect Algorithm Mobility.

EDGE Enhanced Data Rate for GSM Evolution.

GSR Global State Routing.

GPSR Greedy Perimeter Stateless Routing.

GyTAR Greedy Traffic Aware Routing.

GPS Global Position System.

GSM Global System for Mobile Communication.

GPRS General Packet Radio Service.

GPSR Greedy Perimeter Stateless Routing .

LAR Location- Aided Routing.

LTE Long Term Evolution.

MANET Mobile Ad hoc Network.

MORA *MOVement-based Routing Algorithm*.

MinGW Minimaliste GNU pour Windows.

OLSR Optimised Link State Routing Protocol.

OSPF Open Shortest Path First.

OBU On Board Unit.

OMNeT++ Objective Modular Network Testbed *in C++*.

RIP Routing Information Protocol.

RREQ Route Request Message.

RREP Route Reply Message.

RERR Route Error Message.

RSU Road Side Unit.

STI Intelligent Transportation Systems.

SUMO Simulation de la mobilité urbaine..

UMB Urban Multi hop Broadcast Protocol.

UMTS Universal Mobile Telecommunications System.

VANET Vehicular Ad-Hoc NETWORK.

V2V véhicule à véhicule.

V2I véhicule à infrastructure.

Veins Vehicles in Network Simulator.

WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access.

ZRP Zone Routing Protocol.

Introduction Générale

Aujourd'hui le développement technologique dans le monde a touché tous les domaines, particulièrement le secteur de la communication qui connaît une évolution considérable par l'apparition de la technologie sans-fil.

Cette technologie a envahit plusieurs domaines dont celui du transport qui a bénéficié d'une nouvelle technologie qui permet la communication entre les véhicules grâce à un réseau spécifique appelé VANET (Vehicular Ad-Hoc NETWORK).

Ce réseau a pour but la gestion du trafic routier, l'aide à la conduite, garantir la sécurité routière ainsi que la fluidité du trafic routier, et cela par un nombre de capteurs et un système de géo localisation qui permet la mesure de la vitesse et la distance entre les véhicules et aussi des microcontrôleurs ou même des microprocesseurs capables de traiter les informations issues des capteurs et ainsi permettre au véhicule de réagir aux événements inattendus.

Afin d'étudier les VANET, le déploiement sur terrain n'est malheureusement pas envisageable à ce jour, d'où le recours à la simulation. Plusieurs simulateurs ont été mis à la disposition des chercheurs dans ce but (OMNET++, NS2, . . .). Lors d'une simulation, la mobilité est un paramètre à ne pas négliger, car les unités dans un VANET peuvent se déplacer à grande vitesse suivant un schéma de mobilité particulier. Pour modéliser la mobilité des VANET, plusieurs modèles ont été conçus. Ces modèles de mobilité doivent prendre en considération les contraintes de la mobilité véhiculaire, pour que la simulation soit proche de la réalité.

Notre projet consiste à simuler et analyser des protocoles de routage dédiés aux réseaux véhiculaires : VANET.

La communication entre véhicules est assurée par le protocole de routage Diffusion, Diffusion sélective et Diffusion probabiliste.

Ainsi, et pour modéliser la mobilité des véhicules, nous avons exploité des cartes *.osm* (*open street map*) directement téléchargeable à partir des sites.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Introduction Générale

Le premier chapitre, présente une partie sur les réseaux sans fils et leur classifications et une partie est l'état de l'art sur les réseaux VANET : définition, Caractéristiques, les applications, Les modes de communications utilisé par VANET, les nœuds, les composants, les normes et les standardisations des VANET, les défis, et en fin les avantages et les inconvénients des réseaux VANET.

Le deuxième chapitre est consacré à la description des différents protocoles de routage dans les VANETs qui sont basé sur la topologie et sur la géographie, selon la topologie il existe des protocoles réactifs comme AODV, DSR , des protocoles proactifs comme OLSR, GSR, DSDV et des protocoles hybrides comme ZRP, selon la géographie il existe des protocoles comme A-STAR, UMB, GyTAR, VADD, MORA, GPSR.

Dans le dernier chapitre, nous présentant les différents simulateurs dédiée pour les VANET. Ils en existe plusieurs. Généralement pour simuler les réseaux VANET deux simulateurs sont utilisés conjointement : un simulateur pour simuler le réseau tels que : OMNET ++, et un deuxième pour simuler le trafic tel que : SUMO. Ainsi, des simulateurs intégrés qui ont été, par la suite, conçus pour simuler les VANET tel que : VEINS, et nous avons détaillé les étapes de réalisation de notre simulateur à savoir les outils logiciels utilisés. Ainsi nous avons évalué les performances des protocoles de routage Diffusion, Diffusion sélective et Diffusion probabiliste.

Nous terminons par une conclusion.

Chapitre 01 : Les Réseaux

Vanet

I. Chapitre 1 :Les Réseaux Vanet

I.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.

De plus, ces réseaux ne se contenteront plus d'améliorer la sécurité routière seulement, mais ils permettront aussi d'offrir de nouveaux services aux usagers des routes rendant la route plus agréable.

Nous présentons dans ce chapitre les réseaux VANET, leur caractéristique, leurs applications ainsi que leur type ou les modes de communications utilisé par VANET et les normes et standardisation dans les VANET.

I.2 Réseaux sans fil :

I.2.1 Définition :

Un réseau sans fil (Wireless network) est un réseau dans lequel au moins deux terminaux sont connectés sans liaison filaire. Ce type de réseau basé sur des liaisons utilisant des ondes radioélectriques (exemple : radio, infrarouge), de telle sorte que les terminaux ont la possibilité de se déplacer dans un certain périmètre de couverture géographique sans perdre le signal. [1][2]

I.2.2 Classification des réseaux sans fil:

Les réseaux sans fil peuvent être classés en deux grandes catégories:

I.2.2.1 . Réseaux sans fil avec infrastructure (Cellulaires):

Les réseaux sans fil avec infrastructure sont constitués d'un ensemble de points d'accès (site fixe ou station de base) et des unités mobiles, ou chaque station de base correspond à une cellule à partir de la quelle des unités mobiles peuvent être connectées à cette station de base via une liaison sans fil pour émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux via un réseau de communication filaire.[3]

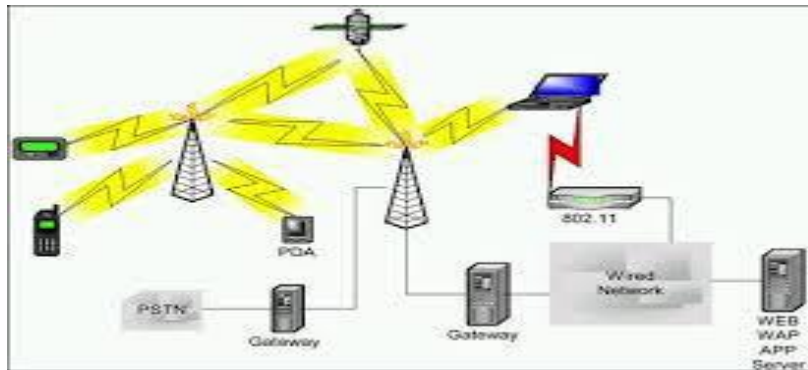


Figure 1: Réseaux cellulaires.

1.2.2.2 Réseaux sans fil sans infrastructure (Ad-hoc):

Un réseau sans infrastructure est également appelé réseau Ad-hoc. Dans ce mode de réseau la notion de site fixé ou points d'accès n'existe pas. Toutes les unités du réseau se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil afin de construire un réseau point à point. Ainsi chaque unité joue en même temps le rôle de client et celui du point d'accès. [3]

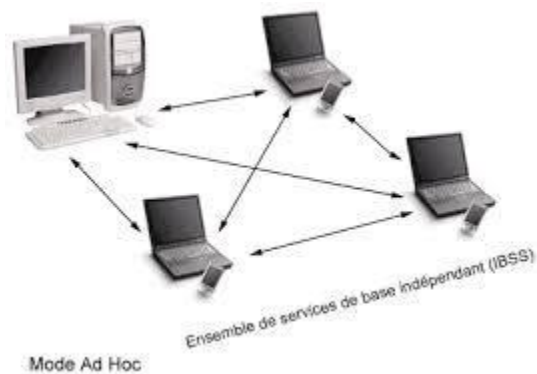


Figure 2: Réseaux ad hoc.

I.3 Les réseaux véhiculaire VANET

Réseau Ad-Hoc de véhicules, ou VANET est une forme de réseau mobile Ad-Hoc, ou MANET, pour fournir des communications au sein d'un groupe de véhicules à portée les uns des autres et entre les véhicules et les équipements fixes à portée, usuellement appelés équipements de la route. Par rapport à un réseau Ad-Hoc classique, les réseaux VANET sont caractérisés par une forte mobilité des nœuds rendant la topologie du réseau fortement dynamique.

Les réseaux MANET qui fonctionnent dans des réseaux à liaison point à point sans infrastructure, c'est-à-dire que tout nœud constituant le réseau est un point d'accès. Dans un réseau VANET les nœuds sont les véhicules intelligents appartenant au réseau.

VANET peut être utilisé pour soutenir le développement les Systèmes de Transport Intelligent STI (Intelligent Transportation Systems ITS).

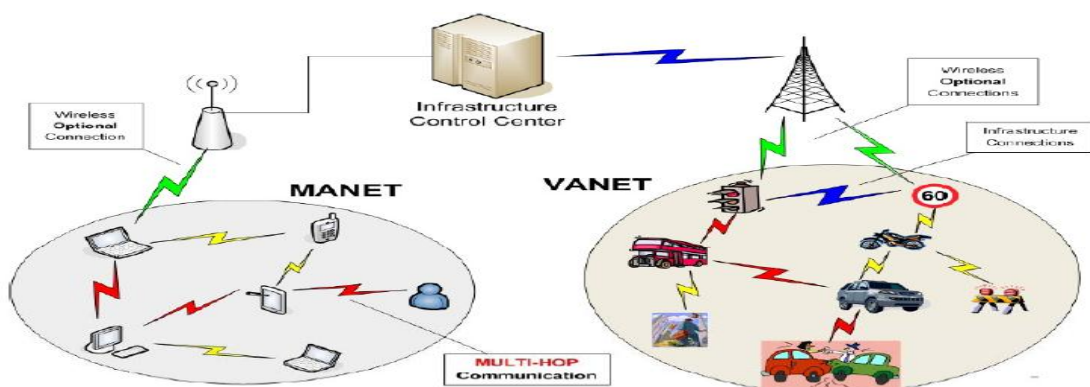


Figure 3: : Nœuds représentant les réseaux VANET. [4]

I.4 Caractéristique des réseaux VANET

Les réseaux véhiculaires (VANET) se distinguent des réseaux sans fils traditionnels par un certain nombre de caractéristiques spécifiques dont on peut citer :

I.4.1 Le potentiel énergétique

À la différence des réseaux sans fil traditionnels où la contrainte d'énergie représente un facteur limitant important, les entités des réseaux véhiculaires disposent de grandes capacités énergétiques qu'elles tirent du système d'alimentation des véhicules. [5]

I.4.2 L'environnement de communication et le modèle de mobilité

Les réseaux véhiculaires imposent la prise en compte d'une plus grande diversité environnementale.

Du fait de la mobilité des véhicules, il est en effet possible de passer d'un environnement urbain caractérisé par de nombreux obstacles à la propagation des signaux, à un environnement périurbain ou autoroutier présentant des caractéristiques différentes. En plus de cette diversité environnementale, les réseaux véhiculaires se distinguent également des réseaux sans fils ordinaires par un modèle de mobilité dont une des traductions les plus évidentes est l'importante vitesse des nœuds qui réduit considérablement les durées de temps pendant lesquelles les nœuds peuvent communiquer.

I.4.3 Le modèle de communication

Les réseaux véhiculaires ont été imaginés principalement pour les applications liées à la sécurité routière (*ex.* diffusion de messages d'alerte). Dans ce type d'application, les communications se font presque exclusivement par reliaisons successives d'une source vers une multiplicité de destinataires. Le modèle de transmission en Broadcast ou en Multicast est donc appelé à dominer largement dans les réseaux véhiculaires, ce qui n'est par exemple pas sans conséquence sur la charge du réseau et le modèle de sécurité à mettre en œuvre.

I.4.4 La taille du réseau

Étant donné les avancées importantes réalisées dans le domaine des communications sans fil et les bas coûts des équipements associés, les véhicules qui intègrent déjà massivement des systèmes GPS et des équipements Bluetooth, seront très probablement équipés et ce, tout aussi massivement, de plateformes de communication leur permettant de constituer de véritables réseaux. Ce faisant, et compte tenu de l'importance sans cesse grandissante de la densité et du parc des véhicules, on peut s'attendre à ce que la taille des réseaux véhiculaires dont les déploiements restent encore très confidentiels, soit d'une tout autre ampleur. L'importance potentielle de la taille des réseaux véhiculaires constitue donc une caractéristique majeure à prendre en compte dans la conception de ces réseaux.

I.4.5 Forte mobilité

C'est le premier facteur qui distingue les réseaux véhiculaires des autres classes de réseaux sans fil. La vitesse des véhicules varie selon l'environnement, elle est en moyenne

de 50km/h en zones urbaines et peut atteindre 130km/h sur autoroute. Bien que les mouvements des véhicules soient relativement prédictibles, l'impact de la mobilité sur la connectivité du réseau reste l'une des difficultés majeures des réseaux véhiculaires.

I.4.6 Caractéristiques inhérentes au canal radio

Dans les réseaux sans fil traditionnels, les échanges de données s'effectuent généralement dans des espaces ouverts sans obstacle ou dans des espaces clos en intérieur. Les communications dans les réseaux véhiculaires se font en environnement externe défavorable pour l'établissement des liens radio en raison de la multitude d'obstacles (forêts, montagnes, bâtiments . . .) notamment en zones urbaines.

Ces obstacles causent une sévère dégradation de la qualité et de la puissance des signaux émis , [6]

I.4.7 Connectivité intermittente

Une conséquence directe de la forte mobilité et des obstacles de l'environnement est une connectivité intermittente. Un lien établi entre deux entités du réseau peut rapidement disparaître en raison soit de la mobilité qui éloigne les deux entités communicantes, soit des obstacles qui empêchent la propagation du signal.

I.4.8 Diversité de la densité

La densité des nœuds dans un réseau véhiculaire n'est pas uniforme mais à variation spatio-temporelle. La densité en milieu urbain est par exemple beaucoup plus élevée qu'en milieu rural. Le nombre de véhicules dans une intersection ou dans un embouteillage est plus important que sur des routes extra-urbaines où le trafic est souvent fluide. D'un point de vue temporel, la densité est par exemple différente selon qu'on considère la nuit ou la journée, les heures de pointe ou les heures creuses. Cette diversité de la densité rend difficile la conception de solutions génériques étant donné que les problèmes rencontrés à forte densité sont différents de ceux causés par la faible densité.

I.5 Les applications des réseaux VANET

Les principales applications des réseaux VANET peuvent être classées en trois catégories :

I.5.1 Applications de gestion du trafic routier

Les applications de gestion de trafic sont axées sur l'amélioration des conditions de circulation

dans le but de réduire les embouteillages et les risques d'accidents. Elles fournissent aux conducteurs un support technique leur permettant d'adapter leur parcours à la situation du trafic routier. Ces applications visent à équilibrer la circulation des véhicules sur les routes pour une utilisation efficace de la capacité des routes et des carrefours et à réduire par conséquent

les pertes humaines, la durée des voyages et la consommation d'énergie...etc.

I.5.2 Applications de confort

Cette catégorie comporte toutes les applications qui participent au confort du conducteur et qui ne relèvent pas de la gestion du trafic ni de la sécurité routière. Ces applications se présentent donc autant que services fournis au conducteur. Parmi ces applications, citons les panneaux d'annonces locales : d'ordre commercial comme les offres de restaurants, la présence de stations-service proximité, ou culturel comme des informations touristiques relatives à la localisation du véhicule.

Il y a aussi des services télématiques comme le péage à distance sur autoroute, le paiement automatique dans les stations-service (ce qui peut faciliter la vie des handicapés). Un autre type d'application de confort est la communication à vocation de divertissement. Une offre de connexion internet à bord avec vidéo à la demande en est un parfait exemple.

À toutes ces applications s'ajoutent aussi les communications point à point entre deux conducteurs qui voyagent ensemble. Ils peuvent ainsi s'échanger des messages ou partager des données (vidéo, musique, itinéraires, jeux en réseau). La vie des usagers pourra aussi être facilitée par le contrôle à distance de véhicule de manière électronique (vérification du permis de conduire, contrôle technique, plaque d'immatriculation) pour les services compétents (police, douane, gendarmerie). [8]

I.5.3 Applications de sécurité du trafic routier

Ils visent à améliorer la sécurité des passagers sur les routes en avisant les véhicules de toute

situation dangereuse. Ces applications se basent en général sur une diffusion, périodique ou non, de messages informatifs permettant aux conducteurs d'avoir une connaissance de l'état de la route et des véhicules voisins. Des exemples répandus de services dans cette catégorie d'applications sont, l'avertissement des collisions, les avertissements sur les conditions de la route, l'assistance dépassement et changement de voie, etc. [7].

I.6 Les modes de communications utilisé par VANET

Dans les réseaux VANET, on trouve principalement, les entités fixes qui constituent l'infrastructure (RSU et TA) et les entités mobiles (les véhicules). Pour pouvoir échanger les différentes informations et données liées à la sécurité et au confort des usagers de la route, ces différentes entités doivent établir des communications entre elles. Pour cette raison, on distingue trois types de communications véhicule à véhicule (V2V) et véhicule à infrastructure (V2I) et Hybride .[9]

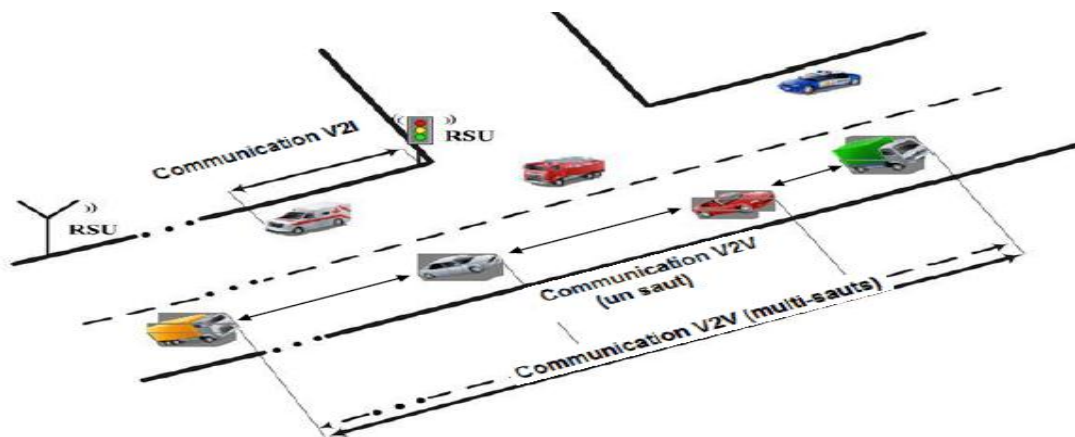


Figure 4: Technologies de communication dans les réseaux véhiculaires.

I.6.1 Communication véhicule à véhicule(V2V).

Dans cette catégorie, un réseau de véhicule est vu comme un cas particulier du réseau MANET (Mobile Ad Hoc Network) où les contraintes d'énergie, de mémoire et de capacité sont relaxées et où le modèle de mobilité n'est pas aléatoire mais prévisible avec une très grande mobilité. Cette architecture peut être utilisée dans le scénario de diffusion d'alertes (freinage d'urgence, collision, ralentissement...) ou pour la conduite coopérative. Aucune infrastructure n'est utilisée, aucune installation n'est nécessaire sur les routes et tous les véhicules sont équipés pour communiquer directement entre eux n'importe où, que se soit sur les autoroutes, des routes de montagnes ou des routes

urbaines, ce qui donne une communication moins coûteuse et plus flexible. Cette approche souffre de certains inconvénients dont nous citons :

- Les délais de communication qui sont élevés, étant donné que la communication se fait en utilisant le multi sauts.
- Les déconnexions fréquentes dues au fait que les véhicules sont mobiles.
- La sécurité réseau est très limitée.

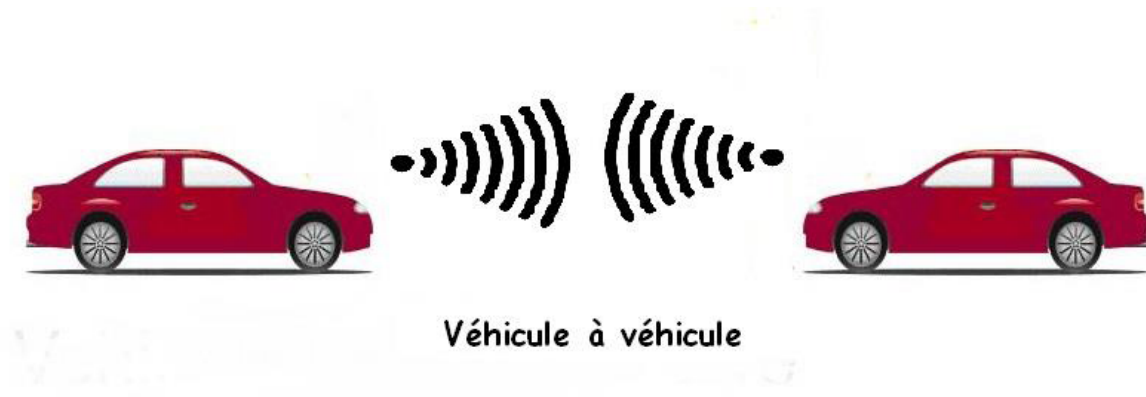


Figure 5: Communication véhicule à véhicule(V2V).

I.6.2 Communication de véhicule avec utilisation d'infrastructures V2I

Dans cette catégorie, on ne se concentre pas seulement sur des simples systèmes de communications inter véhicules mais aussi ceux qui utilisent des stations de bases ou points d'infrastructure RSU (Road Side Units, dénomination proposée par le consortium C2C-CC). Cette approche repose sur le modèle client/serveur où les véhicules sont les clients et les stations installées le long de la route sont les serveurs. Ces serveurs sont connectés entre eux via une interface filaire ou sans fil. Toute communication doit passer par eux. Ils peuvent aussi offrir aux utilisateurs plusieurs services concernant le trafic, accès à internet, échange de données de voiture-à-domicile et même la communication de voiture-à-garage pour le diagnostic distant. L'inconvénient majeur de cette approche est que l'installation des stations le long des routes est une tâche coûteuse et prend beaucoup de temps, sans oublier les coûts.[10]



Figure 6: Communication véhicule à infrastructure(V2I).

I.6.3 Communication Hybride

La combinaison des communications véhicule à véhicule avec les communications de véhicules avec utilisation d'infrastructures, permet d'obtenir une communication hybride très intéressante. En effet, les portées des infrastructures (stations de bases) étant limitées, l'utilisation des véhicules comme relais permet d'étendre cette distance. Dans un but économique et afin d'éviter la multiplication des stations de bases à chaque coin de rue, l'utilisation des sauts par véhicules intermédiaires prend tout son importance.[10]



Figure 7: Communication Hybride (V2I+V2V).

I.7 Les noeuds d'un réseau VANET :

Les noeuds dans un réseau VANET sont des véhicules intelligents équipés de calculateurs, capteurs et cartes réseaux capable de collecter, traiter et échanger des informations entre eux. On parle de la notion « véhicule intelligent ». La figure 2 illustre un véhicule intelligent.

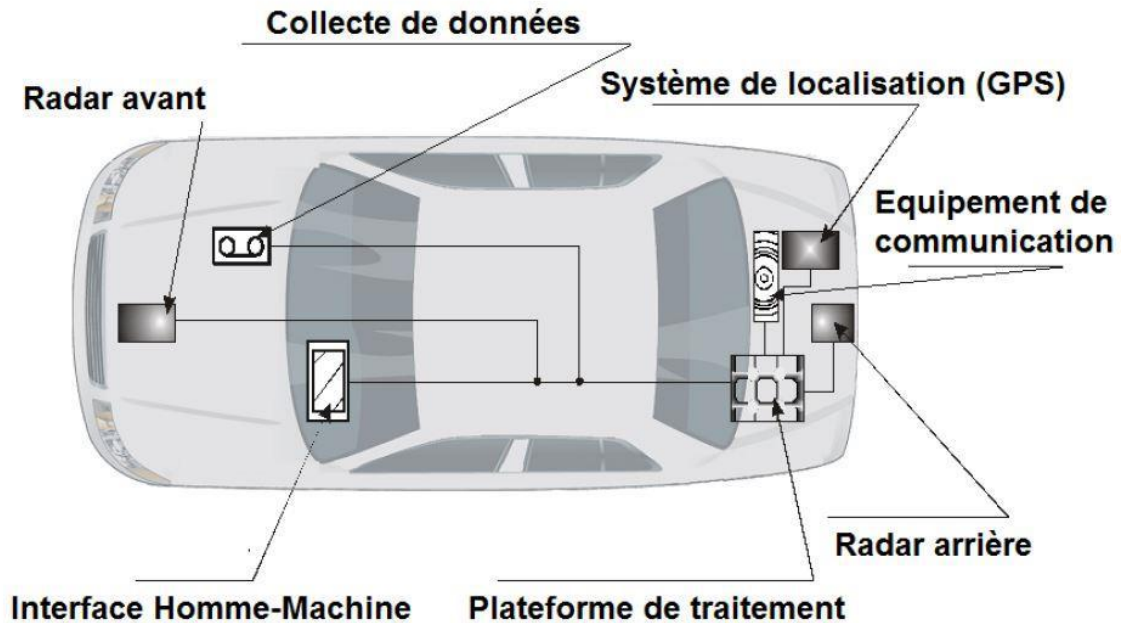


Figure 8: Véhicule intelligent . [12]

- ✓ **Collecte de données (Event Data Recorder(EDR))** : enregistre tous les paramètres importants (vitesse, accélération, événements importants comme les accidents).
- ✓ **Système de localisation GPS (positioning system)** : communique l'emplacement géographique de véhicule.
- ✓ **Les radars** : sont utilisés pour détecter des obstacles.
- ✓ **Plateforme de traitement (computing platform)** : générer l'information utile à échanger avec les autres véhicules ou avec l'infrastructure.

I.8 Composants d'un réseau VANET

Les principaux composants nécessaires pour établir des communications dans un réseau véhiculaire VANET sont les suivants :

I.8.1 Nœud

Les nœuds sont les entités principales de ce type de réseau. Ce sont des véhicules intelligents avec des technologies très avancées telles que le GPS, les caméras et autres équipements. Dans la présente étude, les principaux appareils du nœud sont l'AU (Application Unit) et l'OBU (On Board Unit).

- L'AU est un dispositif électronique installé dans les véhicules pour assurer les communications avec l'autorité de confiance (CA), connecté à l'OBU afin d'exécuter des applications.
- l'OBU (**figure 9**) est un dispositif installé dans les véhicules intelligents avec un ensemble de composants logiciels pour calculer et afficher toutes les informations nécessaires de localisation, partager et échanger des données. [13]



Figure 9: Le dispositif OBU (On Board Unit).[14]

I.8.2 RSU

Les *RSUs* (Road Side Unit) (**figure 10**) sont des dispositifs installés au bord de la route jouant le rôle d'un point d'accès afin d'assurer les communications avec l'infrastructure et échanger les informations relatives à l'état du trafic routier avec les utilisateurs de la route.



Figure 10: Le dispositif RSU (Road Side Unit). [14]

I.8.3 CA

La CA (Central Authority) représente l'autorité de confiance dans le réseau véhiculaire VANET. La CA joue le rôle d'un serveur qui assure la sécurité des différents services tels que la délivrance des certificats, des clés de communication et le stockage de certaines données.

I.9 Technologies d'accès sans fil VANET

Le domaine du réseau véhiculaire VANET est un réseau hybride qui utilise de nombreuses technologies d'accès sans fil. Ces diverses technologies ont pour but d'assurer la liaison entre les différentes entités de l'infrastructure.

Ci- dessous, nous citons quelques technologies d'accès sans fil :

- **Wi-Fi** : Technologie contenant un ensemble de protocoles de communication décrits par la norme IEEE 802.11, assurant la communication entre un véhicule et un autre ou par l'intermédiaire de l'infrastructure RSU. Il existe plusieurs sous-normes de la norme IEEE 802.11 liées au développement des technologies, de l'amélioration du niveau de la fréquence d'onde radio, du taux de transfert de données et de la portée de communication. Parmi les sous-normes nous citons: IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac et 802.11ah.[13]
- **Système cellulaire** : Technologie de communication basée sur la fréquence des systèmes cellulaires. Plusieurs normes liées aux techniques de transmission d'ondes radioélectriques dans une bande de fréquence UHF comprise entre 800 et 2600Mhz sont décrites.

Parmi les générations de normes, nous présentons les suivantes:

- ✓ 2G: GSM (Global System for Mobile Communication) et CDMA (Code Division Multiple Access)
- ✓ 2.5G: GPRS (General Packet Radio Service).
- ✓ 2.75G: EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution).
- ✓ 3G: CDMA 2000 1x EV (Code Division Multiple Access 2000 1X Evolution) et UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
- ✓ 4G: LTE (Long Term Evolution) et WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

communications à courtes portées. Cette technologie d'accès sera détaillée dans la section 2.5 (Normes et standards). [13]

- **DSRC/WAVE:** Dedicated Short Range Communications est une norme d'accès sans fil de la communication de réseau VANET dans un environnement véhiculaire. C'est un ensemble de protocoles assurant les communications à courtes portées. Cette technologie d'accès sera détaillée dans la section 2.5 (Normes et standards). [13]

- **Technologies d'accès sans fil combinées :** Ce type de technologie permet plusieurs services tels que les services de messages, de données et de localisation. Nous citons comme exemple de cette technologie : GSM/2G et UMTS/3G. [13]

I.10 Normes et Standardisations :

Pour mettre en place la communication entre les différentes entités dans les réseaux véhiculaires sans fil, ASTM (American Society for Testing and Materials) a adopté en 2002 une norme de communication DSRC (Dedicated Short Range Communication) dont la couche physique est basée sur la norme IEEE802.11a.

En 2003, l'IEEE s'inspirant des travaux de l'ASTM, a étendu sa famille de standard 802.11 en y ajoutant le 802.11p [15] [16].

Le modèle DSRC/WAVE (Dedicated Short Range Communication/ Wireless Access in Vehicular Environments) (figure 4) permet un accès à la technologie sans fil dans un environnement véhiculaire.

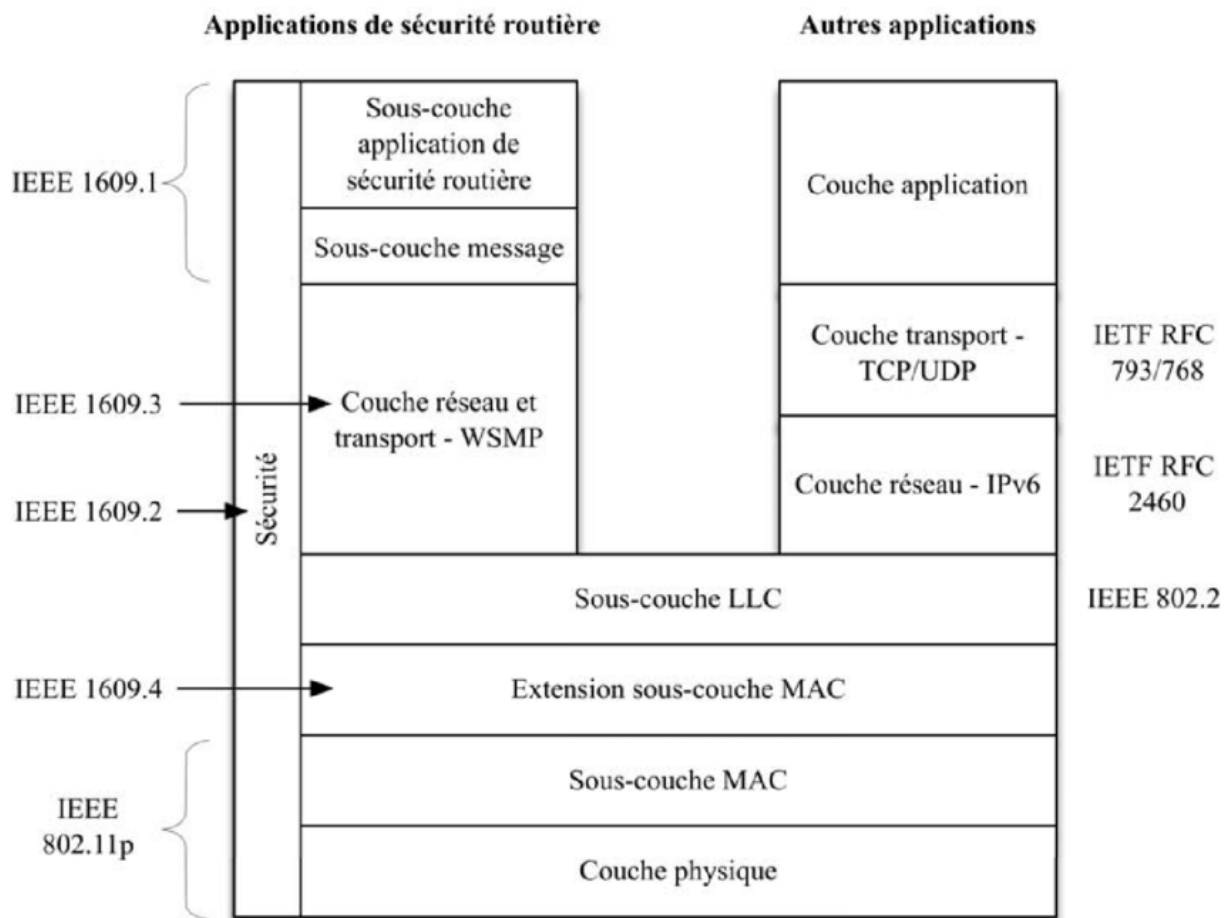


Figure 11: Le modèle WAVE/DSRC. [17]

I.10.1 La norme DSRC (Dedicated Short Range Communications):

Les réseaux véhiculaires permettent d'établir des communications entre véhicules dites IVC (Inter-Vehicule Communication) d'une part et entre véhicules et infrastructure dite RVC (Road to Vehicule Communication) d'autre part. DSRC regroupe un ensemble de technologies dédiées aux communications véhiculaires. Dans le système DSRC, chaque véhicule embarque un terminal de communication appelé OBU (On Bord Unit) tandis que les terminaux fixes disposés le long des routes et constituant l'infrastructure sont appelés RSU (Road Side Unit). Ainsi, au lieu de recourir à un dispositif spécifique pour chaque type d'application, on utilise les OBU et les RSU qui constituent le point d'entrée pour tout type d'application déployée dans les réseaux véhiculaires.

Le standard DSRC sous-tend une technologie de communication radio plus connue sous la norme IEEE 802.11p ou WAVE (Wireless Access for Vehicular Environment). Cette

technologie radio offre des portées de transmission pouvant aller jusqu'à 1000 mètres. Elle en outre est définie dans la bande de fréquence des 5.9 GHz sur une largeur de bande totale de 75 MHz (5.850 GHz – 5.925 GHz).

I.10.2 La norme WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments):

représente un groupe de normes et de protocoles d'accès sans fil dans un environnement véhiculaire. Il s'agit d'une architecture avec un ensemble de standards, de services et d'interfaces permettant de sécuriser les différents types de communications dans le système de réseau VANET. L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) définit également le standard WAVE sous le nom IEEE 1609. [13]

- a. **IEEE 1609.1:** Norme fournissant un gestionnaire de ressources précédant la communication entre les applications et les véhicules dans les réseaux VANETs. Définissant également le format de message et le mode de stockage des données.
- b. **IEEE 1609.2:** Norme définissant les services de sécurité des applications, les circonstances d'échange des messages, leur gestion et leurs formats. Le standard IEEE 1609.2 répond aux exigences de sécurité dans le système de réseau VANET en termes de confidentialité, d'intégrité et d'authenticité.
- c. **IEEE 1609.3:** Norme s'intéressant aux couches des services de transport et de réseaux, telles que l'adressage et le routage. Définissant également le WSM (Wave Short Message) et le protocole d'échange WSMP (Wave Short Message Protocol).
- d. **IEEE 1609.4:** Norme définissant les opérations multi-canaux par l'exécution du mécanisme EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) de la sous-couche MAC (Medium Access Control), en se basant sur le mécanisme CSMA/CA utilisé dans les réseaux informatiques.
- e. **IEEE 802.11p :** Norme du réseau sans fil faisant partie de la famille IEEE 802.11x commercialisée sous forme Wi-Fi. Le standard IEEE 802.11p définit des caractéristiques spécifiques pour le domaine du réseau VANET ; une bande passante de 5.9 GHz assurant l'échange de données avec un débit compris entre 6 et 27 Mb/s et sur une distance de 1000m.

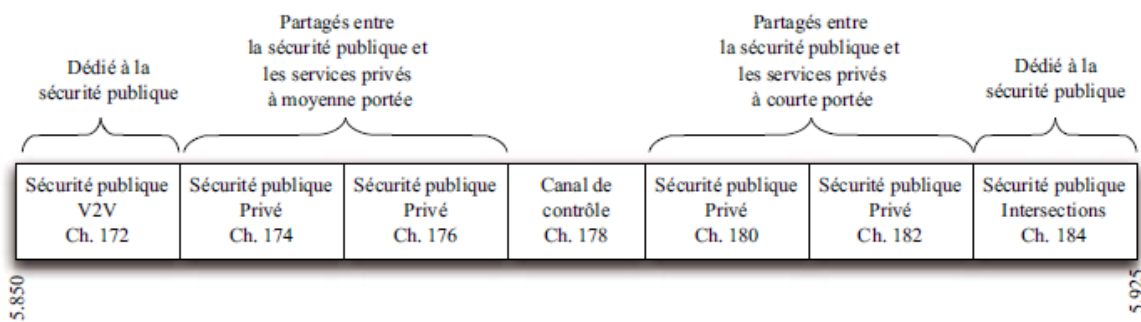


Figure 12: Canaux du standard IEEE 802.11p.

I.11 Les défis

Des caractéristiques des réseaux véhiculaires découlent plusieurs défis que l'on peut résumer en ces points :

- ✓ **Qualité de service** : la demande en qualité de service dépend des applications supportées. La principale contrainte des applications de sécurité est la latence. La validité des informations étant limitée dans le temps, les messages doivent parvenir à destination dans des délais courts pour être considérés comme pertinents. Dans le cas des applications de gestion de trafic, il s'agit essentiellement de la définition d'algorithmes d'agrégation des données qui permettent d'inclure autant d'informations de trafic que possible dans les paquets diffusés [Toor et al, 2008]. Pour les applications de confort tel le transfert de fichiers ou le téléchargement le besoin est une connectivité permanente. [18]
- ✓ **Canal radio fiable** : le rôle des mécanismes de gestion du canal radio est d'offrir des transmissions fiables et robustes et un partage équitable du médium de communication.

Pour atteindre cet objectif dans le cas des réseaux véhiculaires, il est nécessaire de définir des méthodes qui permettent de faire face aux deux problèmes majeurs des transmissions qui sont, les interférences inter-symboles dues à la propagation des ondes par trajets multiples et l'effet Doppler causé par le mouvement des véhicules.

- ✓ **Routage** : les protocoles de routage sont utilisés en communications ad hoc. Ils permettent de déterminer la suite des nœuds que les paquets doivent traverser pour un échange d'information entre entités distantes. Les problèmes auxquels doivent répondre les protocoles de routage sont la connectivité intermittente qui rend les

routes déjà établies obsolètes et le partitionnement du réseau qui empêche la propagation des paquets.

- ✓ **Adressage géographique et geocasting** : le routage geocast est un mécanisme similaire au multicasting dans lequel les destinataires sont identifiés par des contraintes géographiques. Il est utilisé par les applications diffusant des données qui ne sont utiles que pour les véhicules se trouvant dans une zone géographique spécifique. Par exemple, l'information sur un accident n'est pertinente que pour les véhicules qui se dirigent vers le lieu de l'accident. La diffusion des paquets vers tout autre véhicule cause une surcharge inutile du réseau. La complexité dans le geocasting réside dans la détermination de la zone géographique et la définition d'un mécanisme de relayage efficace qui réduit la surcharge du réseau et qui soit adapté à toutes les densités [19] [20].
- ✓ **Sécurité** : les exigences en sécurité doivent être prises en compte aussi bien dans la conception architecturale du réseau que dans la conception des protocoles de communication. Elles diffèrent en fonction des applications et comprennent principalement la confidentialité, l'authentification, la cohérence et l'intégrité des données et la disponibilité.

La satisfaction de ces exigences dans des systèmes aussi dynamiques et mobiles que les réseaux véhiculaires est difficile mais particulièrement importante étant donné que des vies humaines sont concernées.

- ✓ **Normalisation vis-à-vis de la flexibilité** : il est évidemment nécessaire d'uniformiser les communications afin de permettre aux véhicules conçus par différents fabricants de pouvoir collaborer. Cependant, en raison des enjeux commerciaux, il est probable que les constructeurs voudront créer une certaine différenciation des standards.

I.12 Les avantages et les inconvénients des réseaux VANET

I.12.1 Les avantages

a) Topologie dynamique

Vue le nombre important des nœuds qui augmente d'une façon exponentielle et qui se déplace avec une grande vitesse ceci va influencer sur la topologie du réseau. Cette caractéristique permet de garantir et d'assurer l'activité du réseau.

b) Echange entre des nœuds hétérogène

Bien que les noeuds sont de nature différente (marque, capacité de traitement, composants, etc.) les concepteurs ont conçu un protocole qui assure le bon échange des informations

c) Propagation par trajet multiple

Les messages échangés par un véhicule sont reçus par tous les autres véhicules qui se trouvent dans la zone de couverture de l'émetteur.

d) Relais d'information

Deux véhicules distants peuvent partager des informations à l'aide des noeuds intermédiaires.

I.12.2 Les inconvénients

a) Canal radio partagé et limité

Un canal radio à fréquence statique est partagé entre tous les noeuds du réseau ce qui limitera le flux de données et la bande passante surtout dans les endroits denses.

b) Les interférences

Un réseau véhiculaire utilise les transmissions radio pour l'échange d'information ce qui rend les communications exposées aux interférences. Ces interférences font augmenter le taux d'erreurs de transmission, et rendent les messages incompréhensibles par le récepteur. [21]

I.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux véhiculaires VANET qui ne sont qu'une particularité des réseaux MANET. Nous avons signalé également leur caractéristique, leur application. Ainsi la communication dans les réseaux véhiculaires avec chacun de ces modes et finalement les protocoles de routage utilisés

Chapitre02 : Les Protocoles de Routage dans les réseaux Vanets

II. Chapitre II : Protocoles de routage dans les réseaux Vanet

II.1 Introduction

Le routage joue un rôle très important dans les VANET puisque tous les services supportés, unicast ou multicast, se basent sur des communications multi-saut pour l'acheminement des données. Les transferts de fichiers et les jeux. Les communications multicast sont utilisées dans les applications de sécurité et de gestion de trafic telles que l'avertissement de collision et les alertes. Pour réaliser les échanges, les protocoles de routage utilisent des informations locales, sur le voisinage immédiat, ou globales, concernant tout le réseau, an de déterminer les nouds relais qui participent à l'acheminement des données communications unicast sont généralement utilisées dans les applications de confort.

Dans les réseaux VANETs, le routage pose des défis pour de nombreux chercheurs. Alors pour que les véhicules puissent communiquer entre eux, nous devons définir un protocole de routage efficace et fiable qui est à la mesure de remonter une information d'un véhicule à un autre

Dans ce chapitre, nous présentons les différents protocoles de routage utilisés dans les réseaux véhiculaires, leurs objectifs ainsi que leurs principes. Finalement, nous terminons par une conclusion dans laquelle nous récapitulons le résultat de cette étude.

II.2 Routage dans les réseaux VANET

Le routage joue un rôle très important dans les VANET puisque tous les services supportés, unicast ou multicast, se basent sur des communications multi-saut pour l'acheminement des données. Les transferts de fichiers et les jeux. Les communications multicast sont utilisées dans les applications de sécurité et de gestion de trafic telles que l'avertissement de collision et le platooning. Pour réaliser les échanges, les protocoles de routage utilisent des informations locales, sur le voisinage immédiat, ou globales, concernant tout le réseau, an de déterminer les nouds relais qui participent à l'acheminement des données communications unicast sont généralement utilisées dans les applications de confort .[22]

II.3 Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANETs

Afin de présenter les principaux protocoles de routage dans les VANETs, nous avons choisi de commencer par faire une classification des différents protocoles existants dans la littérature. Généralement, les protocoles de routage peuvent être classés en deux grandes familles : les protocoles géographiques basés sur la position et les protocoles basés sur la topologie qui sont divisés en protocoles proactifs, réactifs et hybrides. La figure 1 illustre cette classification.

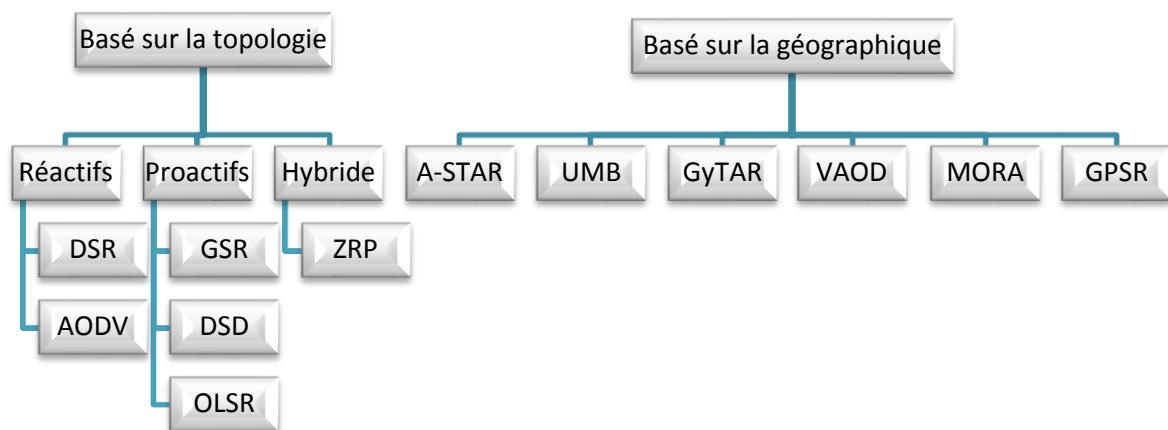


Figure 13: Les protocoles de routage dans les réseaux VANET.

II.3.1 Les protocoles de routage basés sur la topologie

II.3.1.1 Les protocoles réactifs

Les protocoles réactifs adoptent des algorithmes classiques tels que le routage par vecteur de distance. Les routes sont établies uniquement sur demande et seules les routes en cours d'utilisation sont maintenues. Dans ce cas, un délai supplémentaire est nécessaire au début de chaque session pour la recherche du chemin. Lorsqu'un nœud veut envoyer des paquets, une étape de découverte de route est initiée par la diffusion d'un message de recherche de route. Tout nœud qui reçoit ce message et qui ne dispose pas d'informations à propos de la destination diffuse à son tour le message. Ce mécanisme est appelé mécanisme d'inondation.[23]

a) Les avantages

- les mobiles ne conservent pratiquement aucune information sur la topologie globale du réseau : seules les informations sur les routes actives sont stockées.
- les protocoles réactifs génèrent à priori un volume plus faible de signalisations.

b) Les inconvénients

les protocoles réactifs engendrent un délai lors de la construction (ou de la reconstruction) des routes et produisent plus difficilement des routes optimales.

II.3.1.1.1 Le protocole AODV

Le protocole de routage AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) est un protocole, Ce protocole crée les routes au besoin et utilise le principe de numéro de séquence afin d'utiliser les routes les plus nouvelles, dites encore les plus fraîches. En plus, il utilise le nombre de sauts comme métrique pour choisir entre plusieurs routes disponibles. Trois types de paquets sont utilisés par AODV : les paquets de requête de route RREQ (Route Request Message), les paquets de réponse de route RREP (Route Reply Message) et les paquets d'erreur de route RERR (Route Error Message). En plus de ces paquets, AODV invoque des paquets de contrôle HELLO qui permettent de vérifier la connectivité des routes. AODV repose sur deux mécanismes : découverte de route et maintenance de route. La découverte de route permet de trouver une route pour atteindre une destination et la maintenance de route permet de détecter et signaler les coupures de routes provoquées éventuellement par la mobilité des nœuds.

a) Les avantages

- Un chemin à jour vers la destination en raison de l'utilisation du numéro de séquence de destination.
- Il réduit les exigences de mémoire excessives et l'itinéraire redondant.
- Réponses AODV à l'échec de la liaison dans le réseau.
- Il peut être appliqué aux réseaux ad-hoc à grand échelle.

b) Les inconvénients

- Plus de temps est nécessaire pour la configuration de la connexion et l'initiale communication pour établir une route par rapport à d'autres approches.

- Pour un seul paquet de réponse d'itinéraire s'il y a une réponse d'itinéraire multiple les paquets entraîneront de lourds coûts de contrôle.
- En raison du balisage périodique, il consomme de la bande passante supplémentaire.

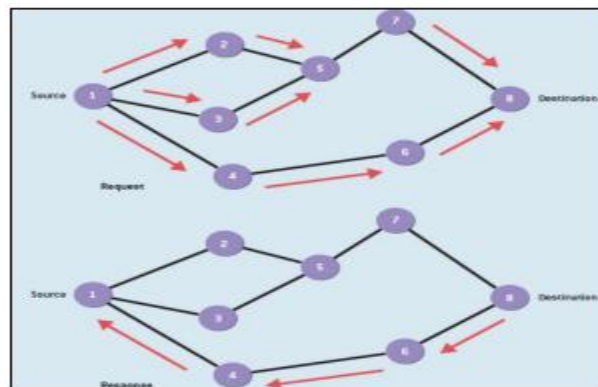


Figure 14: Mécanisme de routage AODV.

II.3.1.1.2 Le protocole DSR

Le protocole de routage DSR (Dynamic Source Routing), Ce protocole crée les routes à la demande comme le protocole AODV. Il utilise la technique "routage à la source" dans laquelle la source inclut dans l'entête du paquet la route complète par laquelle un paquet doit passer pour atteindre sa destination. Les nœuds intermédiaires entre la source et la destination n'ont pas besoin de maintenir jour les informations sur la route traversée puisque la route complète est insérée dans l'entête du paquet. DSR est composé de deux mécanismes : la découverte de route et la maintenance de route. Le premier permet de chercher les routes nécessaires la demande, tandis que le second permet de s'assurer de la maintenance des routes tout au long de leur utilisation.[24]

II.3.1.2 Les protocoles proactifs

Dans les protocoles proactifs, chaque nœud garde une image de la topologie de tout le réseau. Cette image est mise à jour, périodiquement ou à chaque modification topologique, par un échange de messages de contrôle. Les routes sont déterminées sur la base de cette image.[25]

a) Les avantages

- la topologie du réseau est connue de tous les mobiles, les routes sont disponibles immédiatement.
- Les protocoles proactifs disposent en permanence d'une route pour chaque destination dans le réseau.

b) Les inconvénients

- Il faut diffuser régulièrement des informations sur les changements de topologie du réseau.
- Un volume de signalisations important.

II.3.1.2.1 Le protocole OLSR

Le protocole de routage OLSR (Optimized Link State Routing), est un protocole de routage proactif, conçu pour fonctionner dans un environnement mobile distribué sans aucune entité centrale le contrôlant et réagissant (réseau Ad hoc). Il est utilisé dans les réseaux peu mobiles.

Il représente une adaptation et une optimisation du principe de routage à état de lien pour les réseaux Ad hoc. Il permet d'obtenir des routes de plus court chemin, chaque nœud déclare ses liens directs avec tous ses voisins à tous le réseau. Dans le cas d'OLSR les nœuds ne vont déclarer qu'une sous partie de leurs voisinage par l'utilisation de relais multipoints MPR (Multipoint Relay), qui permet d'atteindre tous ses voisins à deux sauts, les nœuds de cet ensemble servent à acheminer et retransmettre les messages qu'ils reçoivent. Les voisins d'un nœud qui ne sont pas MPR, lisent et traitent les paquets mais ne les retransmettent pas.

a) Les avantages :

- Offre des fonctionnalités très intéressantes tout en cherchant des routes optimales en termes de nombre de sauts.
- Diminue au maximum le nombre de messages de contrôle transmis sur le réseau.
- Offre la possibilité de communication entre un réseau MANET et un réseau filaire.

b) Les inconvénients :

- Problème de sécurité.
- Reste toujours vulnérable à certaines attaques.

II.3.1.2.2 Le protocole DSDV

Le protocole de routage DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector), est un protocole de routage de type vecteur de distance. Chaque nœud maintient une table de routage contenant des informations sur les destinations accessibles dans le réseau. Ces informations comprennent le nœud suivant utilisé pour atteindre la destination, le nombre de sauts qui sépare le nœud de la destination et le numéro de séquence estampillé par la destinataire. Ce numéro de séquence permet de distinguer les nouvelles routes des anciennes. Chaque nœud envoie périodiquement à ses voisins la totalité de sa table de routage. D'autres paquets de mise à jour sont aussi envoyés à la suite d'un changement dans la topologie du réseau. Ces paquets n'incluent que les entrées de la table affectées par le changement et ont pour objectif de propager les informations de routage aussi rapidement que possible. Quand un nœud reçoit un paquet de mise à jour, il le compare avec les informations existantes dans sa table de routage. Toute entrée dans la table est mise à jour si l'information reçue est plus récente (ayant un numéro de séquence plus grand), ou si elles ont le même numéro de séquence mais avec une distance plus courte.

Dans le protocole DSDV, une unité mobile doit attendre jusqu'à ce qu'elle reçoive la prochaine mise à jour initiée par la destination afin de mettre à jour l'entrée associée à cette destination dans la table de distance. De ce fait, la réaction de DSDV aux changements de la topologie est considérée lente. D'autre part, ce protocole cause une charge de contrôle importante dans le réseau à cause des paquets de mise à jour envoyés périodiquement ou à la suite des événements.[26]

a) Les avantages :

- Trafic de contrôle faible.
- Adaptés aux grands réseaux.
- Consommation énergétique réduite.
- utilise une mise à jour périodique et basée sur les événements.

b) Les inconvénients :

- Dans ce protocole, une unité mobile doit attendre jusqu'à ce qu'elle reçoive la prochaine mise à jour initiée par la destination, afin de mettre à jour l'entrée associée à cette destination, dans la table de distance. Ce qui fait que le DSDV est lent.
- Il cause un contrôle excessif dans la communication.

- DSDV demande une mise à jour régulière de ses tables de routages ce qui utilise la batterie du système ainsi que de la bande passante même quand le réseau est inoccupé.

II.3.1.2.3 Le protocole GSR

Le protocole GSR (Global State Routing), est un protocole proactif à état de liens où chaque nœud connaît la topologie globale du réseau ce qui lui permet de calculer les routes pour atteindre chaque destination. GSR diffère des protocoles à état de liens dans le fait que les nœuds ne diffusent pas leurs états de liens à tout le réseau, mais ils se limitent à l'envoyer aux voisins uniquement. Ainsi, GSR réduit le trafic des paquets de contrôle. Le problème de GSR est la taille de ses paquets de mise à jour (table de topologie) qui peuvent devenir considérable si le réseau contient un grand nombre de nœuds. En plus, il a une lenteur dans la détection des changements de la topologie.[27]

a) Les avantages

- Le taux de livraison des paquets de GSR est meilleur qu'AODV.
- GSR est évolutif comparativement à AODV.

b) Les inconvénients

- Ce protocole néglige la situation comme un réseau restreint où il n'y a pas assez de nœuds pour le transfert de paquets.
- GSR affiche un overhead plus élevé que GyTAR (Greedy Traffic Aware Routing) [24,25] en raison d'utiliser les messages hello comme messages de contrôle.

II.3.1.3 Protocoles hybrides

Les protocoles hybrides combinent les deux idées, celle des protocoles proactifs et celle des protocoles réactifs. Ils utilisent un protocole proactif, pour connaître le prochain voisin (par exemple le voisinage à deux 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 réactives pour rechercher des routes. Avec ce découpage, le réseau est partagé en plusieurs zones et la recherche de routes en mode réactif peut être améliorée. A la réception d'une requête de recherche réactive, un nœud peut indiquer immédiatement si la destination est dans le voisinage ou non et par conséquent savoir s'il faut aiguiller la requête vers les autres zones sans déranger le reste de sa zone. Parmi les protocoles de routage hybride nous citons ZRP (Zone Routing Protocol).

II.3.1.3.1 Le protocole ZRP

ZRP est un protocole de routage dit hybride. Il utilise à la fois un routage proactif et un routage réactif dans le but de combler les problèmes spécifiques à ces deux types de routage. Cela est possible grâce à la notion de zone.

Une zone regroupe l'ensemble des nœuds se trouvant à une distance maximum de X sauts du nœud de référence. A l'intérieur d'une zone, le routage s'effectue de façon proactive. Par contre, le routage de cette zone vers des nœuds extérieurs se fait de façon réactive.

ZRP est donc basé sur deux procédures : IARP (protocole de routage intrazone) et IERP (protocole de routage interzone).

A travers IARP chaque nœud apprend la distance qui le sépare de chaque autre nœud présent dans sa zone. IERP établit des liens entre nœuds dont la distance est supérieure au rayon de zone. Il s'appuie sur le protocole BRP qui définit la frontière des zones grâce à la technique de Bordercasting.¹[28]

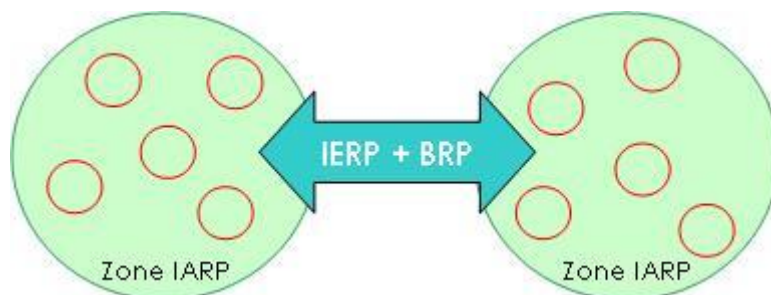


Figure 15: Mécanisme de routage AODV.

II.3.1.4 Comparaison les protocoles de routage proactive et réactive

Dans un protocole de routage réactif, les mobiles ne conservent pratiquement aucune information sur la topologie globale du réseau. Seules sont stockées les informations sur les routes actives. Les routes sont construites à la demande et sont détruites lorsqu'elles ne sont plus utilisées.

¹ Le Bordercasting est un processus d'émission de paquets IP (unicast ou multicast) à partir d'un nœud vers chacun des nœuds périphériques.

Dans un protocole de routage proactif, la topologie du réseau est connue de tous les mobiles. Les routes sont disponibles immédiatement mais, en contrepartie, il faut diffuser régulièrement des informations sur les changements de topologie du réseau.

Les protocoles réactifs génèrent a priori un volume plus faible de signalisation mais en contrepartie engendrent un délai lors de la construction (ou de la reconstruction) des routes et produisent plus difficilement des routes optimales (quel que soit le critère).

Les protocoles proactifs disposent en permanence d'une route pour chaque destination dans le réseau mais génèrent en contrepartie un volume de signalisation important. De nombreux débats ont lieu sur la performance des deux approches. [29]

II.3.2 Les protocoles de routage basés sur la géographique

Les protocoles de routage géographiques (ou basés sur la position) utilisent des coordonnées géographiques par exemple fournies par le GPS afin de trouver un chemin vers la destination . Pour atteindre cet objectif, les coordonnées géographiques des nœuds sont incluses dans les tables de routage. L'avantage majeur de ces protocoles par rapport aux protocoles précédents est qu'ils réduisent considérablement la signalisation (les paquets de contrôle), notamment dans les réseaux larges et dynamiques. Ils permettent aussi d'économiser l'énergie des nœuds, gagner la bande passante et le passage à l'échelle du réseau. En effet, ces protocoles n'ont pas besoin de tables de routage ce qui limite les paquets de contrôle pour la maintenance de la table. Ce qu'ils ont besoin, c'est uniquement la localisation de la destination outre la possibilité que chaque nœud connaît sa propre localisation à tout moment. La localisation d'un nœud peut être obtenue en utilisant le système de positionnement global appelé GPS, attaché au nœud mobile ou un algorithme de localisation. Il existe plusieurs protocoles de routage géographiques. Les plus connus sont: LAR (Location Aided Routing) [19], DREAM (Distance Routing Effect Algorithm Mobility) , GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) .

II.3.2.1 Le protocole A-STAR

Le protocole de routage A-STAR (Anchor-based Street and Traffic Aware Routing), est un protocole de routage basé sur la localisation (position) pour un environnement de communication véhiculaire métropolitain. Il utilise particulièrement les informations sur les itinéraires d'autobus de ville pour identifier une route d'ancre (Anchor route)

avec une connectivité élevée pour l'acheminement des paquets. A-STAR adopte une approche de routage basée sur l'ancrage (Anchor based) qui tient compte des caractéristiques des rues. Un point est associé à chaque rue en fonction de sa capacité (grande ou petite rue qui est desservie par un nombre de bus différent). Les informations de routes fournies par les bus donnent une idée sur la charge du réseau véhiculaire dans chaque rue. Ce qui donne une image de la ville a des moments différents.

a) Les avantages

- Dans une densité de trafic faible, A-STAR assure une recherche de connexion.
- Par rapport à l'approche gourmande de GSR et le mode périmétrique du GPSR, A-STAR utilise une nouvelle reprise locale, une stratégie qui convient mieux à l'environnement de la ville.
- La sélection de l'option A-STAR assure une connectivité élevée, bien que le taux de livraison des paquets soit inférieur à GSR et GPSR.

b) Les inconvénients

- Le taux de livraison des paquets d'A-STAR est inférieur à ceux de GSR et GPSR
- Pour trouver un chemin de la source vers la destination, il utilise des paramètres statiques basés sur les itinéraires de bus de la ville qui causent un problème sur une partie des rues.

II.3.2.2 Le protocole UMB

Le protocole de routage UMB (Urban Multi hop Broadcast Protocol), est un protocole efficace de la norme 802.11, basé sur l'algorithme de diffusion multi saut pour les réseaux inter véhiculaires avec support d'infrastructure, dans le but de réduire les collisions et d'utiliser efficacement la bande passante. Contrairement aux protocoles de diffusion par inondation, UMB confie les opérations d'envoi et de reconnaissance des paquets aux nœuds les plus éloignés sans connaître à priori des informations sur la topologie du réseau.

UMB est décomposé en deux phases : la première appelée diffusion directionnelle, où le véhicule source sélectionne un nœud dans la direction de diffusion pour faire un relayage de données sans aucune information sur la topologie. La deuxième diffusion aux intersections pour disséminer les paquets dans toutes les directions, pour cela UMB utilise des répéteurs installés dans les intersections pour l'envoi des paquets vers tous les segments. On suppose que chaque véhicule est équipé par un récepteur GPS (Global

Position System) et une carte routière électronique. Le principal avantage du protocole UMB est la fiabilité de diffusion multi-saut dans les canaux urbains.[30]

II.3.2.3 Le protocole GyTAR

Le protocole de routage GyTAR (improved Greedy Traffic-Aware Routing Protocol), est un protocole de routage géographique basé sur la localisation (position) et adapté aux réseaux véhiculaires capable de trouver des chemins robustes dans un environnement urbain. L'objectif de ce protocole est de router les données de proche en proche en considérant les différents facteurs spécifiques à ce genre d'environnements/réseaux. Ce protocole suppose que chaque véhicule connaît sa position courante et ceci grâce au GPS.

De plus un nœud source est sensé connaître la position du destinataire pour pouvoir prendre des décisions de routage, cette information est donnée par un service de localisation tel que GLS (Grid Location Service) et peut déterminer la position des intersections voisines à travers des cartes numériques.

a) Les avantages

- Pour la topologie à haute mobilité, qui change rapidement souvent une fragmentation du réseau est effectuée par GyTAR.
- Performance montre que le débit, le retard et l'acheminement de l'overhead sont meilleurs que ceux de GSR.

b) Les inconvénients

- GyTAR dépend des unités routières (RSUs) parce qu'il suppose que le nombre de véhicules dans la route sera donné à partir des unités à bord de route.
- GyTAR ne peut pas éviter son vide.

II.3.2.4 Le protocole VADD

Le protocole de routage VADD (*Vehicle-Assisted Data Delivery*), est un protocole de routage qui prend en considération le contexte des réseaux de véhicules et exploite le mouvement prévisible des véhicules pour décider de retransmettre ou non le message. Il

utilise particulièrement les informations sur le trafic routier au niveau d'une route pour estimer le délai mis par un paquet pour parcourir un tel segment. Par conséquent, les paquets seront acheminés le long d'un chemin ayant le plus faible délai de bout en bout.[31]

II.3.2.5 Le protocole MORA

Le protocole de routage MORA (*MOvement-based Routing Algorithm*) sont proposés un algorithme de routage basé sur le mouvement pour les véhicules des réseaux Ad hoc ,l'algorithme est complètement distribué ,car les nœuds doivent communiquer avec seul les voisins directs situés dans leurs zone de transmission.

La principale caractéristique de MORA est l'utilisation d'une métrique de routage qui permet d'exploiter non seulement les information de positionnement mais aussi la direction dans laquelle les véhicules se déplacent :MORA considère explicitement changement dynamique dans le réseau en plus de la disponibilité information topologiques.[32]

II.3.2.6 Le protocole GPSR

Le protocole de routage GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*), est donc un protocole de routage basé sur la position, qui contient deux parties. La première correspond à une méthode de choix du prochain nœud transmetteur qui aura le rôle de retransmettre les paquets, et cela tout en se basant sur les informations de position des voisins (nœuds candidats) et de la destination des paquets. Cette méthode consiste à choisir le candidat qui est à une distance la plus proche à vol d'oiseau de la destination. La deuxième partie de GPSR est en fait une méthode pour contourner les obstacles et les zones géographiques vides, qui ne présentent aucun candidat transmetteur dans le voisinage.[33]

a) Les avantages

- Pour transférer le paquet, un nœud doit se souvenir d'un seul saut voisinage.
- Les décisions sur les paquets sont effectuées dynamiquement.

b) Les inconvénients

- Pour les caractéristiques de mobilité élevée du nœud, des informations de la position des voisins sont souvent contenues dans la table voisine des nœuds d'envoi.

- Bien que le noeud de destination transfère ses informations dans l'en-tête des paquets au noeud intermédiaire ces informations ne sont jamais mises à jour.

II.4 Conclusion

Dans les réseaux ad-hoc, tout équipement peut être impliqué pour acheminer des données qui ne le concerne pas et chaque nœud participe à une stratégie de routage afin que tous les nœuds puissent ensemble créer un réseau efficace. C'est pour cela que les protocoles de routage mis en œuvre dans les réseaux ad-hoc ont une importance cruciale et il est impensable de vouloir créer un routage statique dans un environnement mobile. A cet effet, les protocoles de routage doivent être très réactifs à la dynamique du réseau.

Ce chapitre a montré les différentes techniques utilisées par les protocoles de routage pour les rendre plus réactifs en consommant un minimum de bande passante. Ces protocoles sont divisés en deux catégories, les protocoles de routage proactifs qui tentent de maintenir à jour la représentation actuelle du réseau et les protocoles de routage réactifs qui déterminent une route uniquement en cas de besoin. Il existe aussi des protocoles de routage mélangeant les deux protocoles précédents, ce sont les protocoles de routage hybrides

Dans ce chapitre nous avons présenté aussi les types de routage les plus adaptés pour les réseaux véhiculaires et enfin les protocoles utilisés dans les réseaux VANETs pour bien comprendre leurs modes de fonctionnement et combler éventuellement leurs limites.

Chapitre03 :Simulation

III. Chapitre III : Simulation

III.1 Introduction

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.

La simulation est l'outil utilisé pour tester les systèmes réalisés avant leur mise en service afin de déterminer les conditions exactes de leur fonctionnement, évaluer leurs performances et prévoir les différents états liés à ces systèmes et donc de bien réagir et prendre des décisions. Dans notre cas d'étude, les tests à effectuer sont nombreux (selon le nombre de métriques à faire varier). Nous avons choisi les plus importantes afin de montrer les performances des protocoles de routage dans un réseau VANET. Ces protocoles sont implémentés sous OMNeT++.

Dans ce dernier chapitre on commence par l'explication du principe de la simulation dans un réseau VANETs. Nous décrivons ainsi, l'environnement de travail.

III.2 La Simulation des Réseaux VANET

La simulation des VANETs implique deux différents aspects. Le premier est lié aux problèmes de communication entre les véhicules. Un simulateur de réseau, comme OMNeT++, fait face à ces problèmes, il se focalise sur les caractéristiques du protocole de réseau, le deuxième aspect très important est lié à la mobilité des noeuds « véhicules », c'est le simulateur SUMO qui gère la mobilité et le mouvement des véhicules. Les simulateurs définis pour les MANET peuvent être utilisés pour les VANET, néanmoins, ces simulateurs doivent être étendus pour inclure les solutions spécifiques aux réseaux véhiculaires tels que la norme 802.11p (un système de communication pour véhicule) [34]

III.2.1 Simulation de la mobilité dans réseau VANET

Un modèle de mobilité décrit l'ensemble des règles qui définissent le schéma de mouvement des véhicules. En tant que, Les mouvements des véhicules ne peuvent pas être représentés par les modèles de mobilité spécifiques pour les individus.

Il y a plusieurs règles qui s'appliquent (ne peuvent circuler que sur les routes et doivent obéir aux règles de circulation, et d'autre part, par la prise en compte de l'interaction entre véhicules.). La difficulté dans la conception de modèles de mobilité à partir de traces réside dans l'extrapolation des schémas.[35]

III.2.1.1 Les fonctionnels d'un modèles de mobilité

Selon afin de garantir sa validité par rapport à la mobilité réelle, un modèle de mobilité doit intégrer deux niveaux, la macro-mobilité et la micro-mobilité.

- La macro-mobilité consiste à modéliser les aspects macroscopiques qui influencent le trafic véhiculaire. Il s'agit de décrire la topologie du réseau routier, les caractéristiques de chaque route (à double sens ou à sens unique, le nombre de voies, la vitesse limite.), les règles de dépassement et de sécurité au niveau de chaque route, les signaux présents au niveau des intersections (feux de signalisation, panneaux stop.)...etc.
- La micro-mobilité se concentre plutôt sur le comportement individuel de chaque conducteur. Elle consiste à modéliser des caractéristiques telles que, l'accélération, la décélération, le freinage et l'interaction du conducteur avec les autres conducteurs et avec l'infrastructure routière.[36]

III.3 Objectif de la simulation

L'objectif principal de notre simulation est d'analyser les performances des protocoles de routage Diffusion, Diffusion sélective et Diffusion probabiliste des réseaux véhiculaires en milieu urbain et autoroutier en terme de paquets envoyés, paquets reçus, paquets perdu et délai.

III.4 Le simulateur OMNET

L'environnement de simulation à événements discrets OMNeT++ est disponible gratuitement depuis 1997. OMNeT++ n'est pas un simulateur spécialisé pour un domaine particulier.

Il a pour vocation d'être aussi généraliste que possible. Ainsi, OMNeT++ est utilisé dans de nombreux domaines, depuis les réseaux <peer-to-peer> jusqu'aux réseaux Ad Hoc en passant par la simulation de réseaux de stockage d'information. Ce logiciel a été développé pour fournir un simulateur puissant à événements discrets open source. L'objectif était à l'époque de créer une alternative entre le simulateur dédié à la recherche NS-2 et les alternatives commerciales coûteuses tel que le simulateur OPNET.

Le simulateur OMNeT++ est dédié à la modélisation des communications dans différents types de réseaux. Il utilise GCC ou Microsoft Visual++ comme compilateur en fonction de la plate-forme de simulation. Contrairement aux autres simulateurs, OMNeT++ ne propose pas de composants prédéfinis pour la simulation de réseau mais plutôt les outils permettant de créer ces composants. Il existe bien sûr de nombreux modules déjà implémentés, mais ils

sont indépendants du simulateur de base et se développent (ou non) indépendamment de OMNeT++. [37]

III.4.1 Architecture d'OMNeT++

L'architecture du modèle OMNeT++ se compose de plusieurs modules hiérarchiquement imbriqués qui sont :

- Le module système
- Modules simples (les feuilles) : programmés en C++ encapsulant le comportement d'un

réel d'un système. Pour chaque module simple correspond un fichier *.cc* et un fichier *.h*.

- Modules composés : constitués d'un ou de plusieurs modules simples ou des modules composés reliés entre eux. Les paramètres, les ports et les modules de chaque module sont spécifiés dans un fichier *.ned*. [38]

L'architecture d'OMNeT++ est visualisée dans la figure qui suit :



Figure 16: Modulaire du simulateur OMNeT++

Dans la construction d'un nouveau programme de simulation, il y aura à chaque fois des informations chargées dynamiquement telles que la topologie du réseau à partir des fichiers *.ned*, et les configurations sont disponibles dans les fichiers *.ini*.

Lors de la simulation, différents fichiers trace seront remplis. On a aussi le « Plove » qui est un outil pouvant visualiser les données enregistrées. Les deux fichiers *omnet.vec* et *omnet.sca* seront utiles lors du traçage de la courbe et du calcul des statistiques.

III.4.2 Les fichiers

Les principaux fichiers d'OMNet sont :

III.4.2.1 *Les fichiers .ned :*

utilisent le langage NED qui est un langage de description de reseau qui peut etre utilise en deux modes :

le mode texte ou le mode graphique. Les deux modes permettent de decrire les parametres et les ports du module.

Exemples de fichiers .ned :

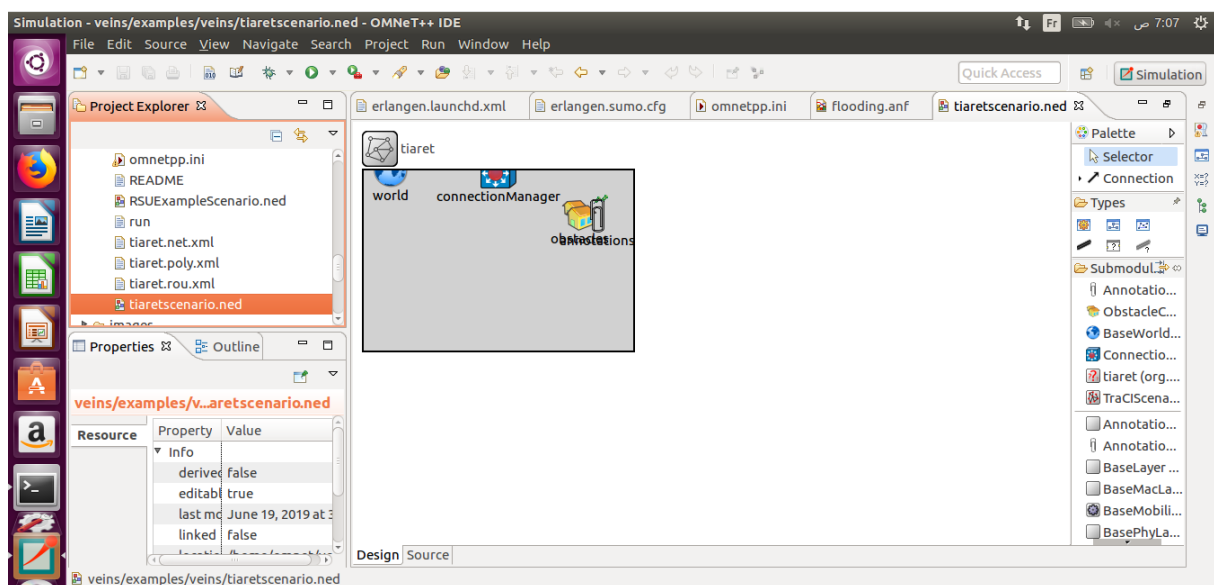


Figure 17: Fichier.ned

III.4.2.2 *Les fichiers .ini :*

sont étroitement liés avec les fichiers .ned. Ils permettent à l'utilisateur d'initialiser les paramètres des différents modules ainsi que la topologie du réseau.

Exemple de fichier .ini :

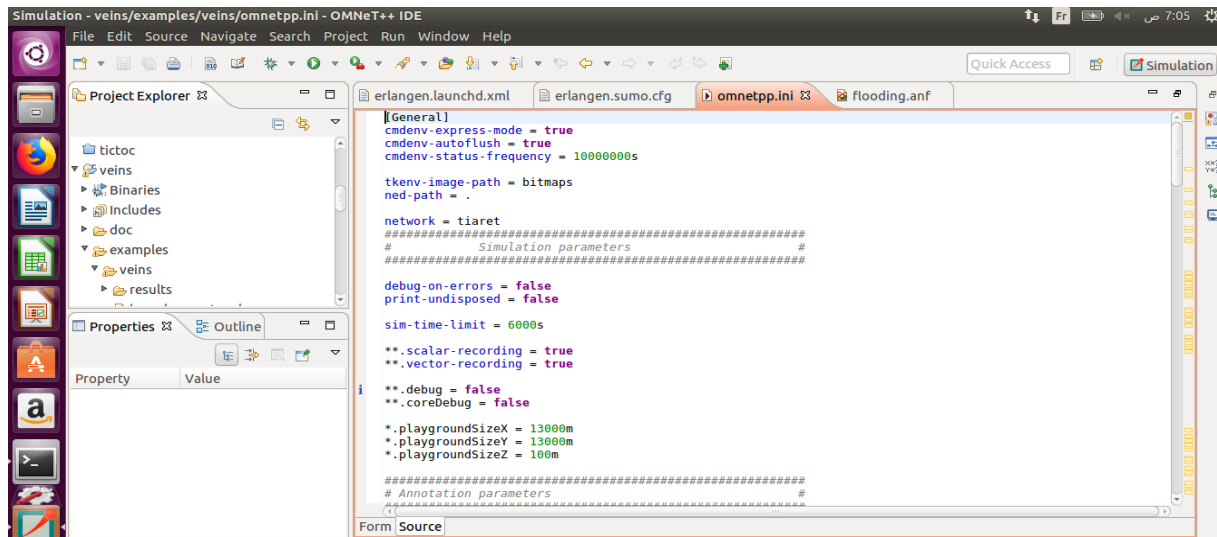


Figure 18: Fichier.ini

III.4.2.3 Les fichiers .msg :

permettent aux modules qui communiquent d'échanger des messages. Ces fichiers contiennent des champs de données qui seront traduits en classes C++ par le programme "opp_msgc".

III.4.3 Composants d'OMNET++

Les composants les plus pertinents dans le simulateur OMNET++ sont représentés dans le Tableau suivant : [38]

Application	FTP, Telnet, generateur de trafic (IP Trf Gen.), Ethernet, Ping App, UDP App, TCP App
Transport	TCP, UDP, RTP
Réseau	IPv4, IPv6, ARP, OSPF, LDP, MPLS, ICMP, TED
Liaison	Mgmt, MAC, Radio
Node	Ad Hoc, Wireless, MPLS

Tableau 1: Les composants d'OMNET++

III.5 Implémentaion

III.5.1 Environnement de travail

Nous allons détailler les outils utilisés dans la réalisation de notre simulation.

III.5.1.1 Simulation des VANET avec VEINS

- Système d'exploitation : Linux Distribution Ubuntu.
- Le simulateur OMNet ++ 4.6: C'est un simulateur Open Source des réseaux de communication supportant des modèles de mobilités. Il est basé sur C++ et réalise
 - Le simulateur SUMO 0.22.0: C'est un simulateur Open Source, portable, microscopique et continu de la circulation routière. Il est conçu pour gérer de grands réseaux routiers.
 - MinGW "Minimaliste GNU pour Windows", est un environnement de développement minimaliste pour les applications natives de Microsoft Windows.

III.5.1.2 Le simulateur SUMO (Simulation de la mobilité urbaine)

Est une source ouverte, microscopique, multimodal. Elle permet de simuler la manière dont une demande de trafic donnée qui se compose de véhicules individuels se déplaçant à travers un réseau routier donné. La simulation permet de traiter un grand nombre de sujets de gestion du trafic. Il est purement microscopique : chaque véhicule est modélisé de manière explicite, a un tracé propre, et se déplace individuellement à travers le réseau.

L'interconnexion avec OMNeT via une connexion TCP avec une seule ligne dans l'invité de commande (Mingwenv) :

```
/C/omnetpp-4.6/samples/vanetsim/sumo-launchd.py -vv -c /c/Sumo/bin/sumo.exe
```

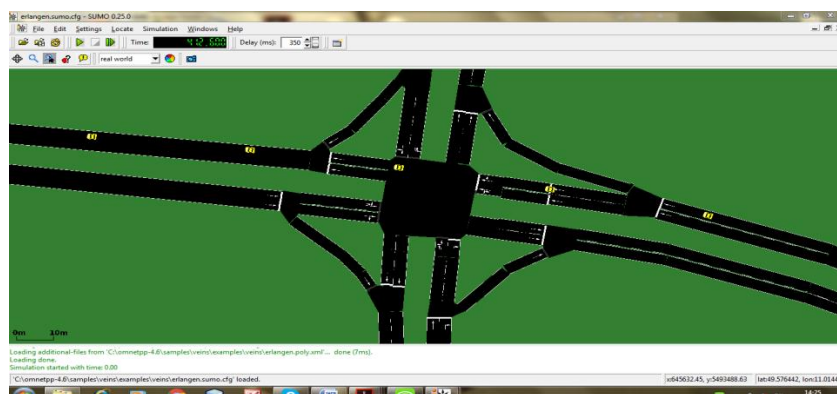


Figure 19: Fenêtre de la simulation de SUMO

III.5.1.3 Veins (Vehicles in Network Simulator)

Est un projet open source Inter-Véhicules communication (IVC) simulation Framework composé d'un simulateur de réseau basé sur les événements et un modèle de micro-traffic de la route. Veins utilise deux simulateurs distincts, OMNeT++ pour la simulation de réseau et SUMO pour la simulation du trafic routier. Pour effectuer des évaluations IVC, deux simulateurs sont en cours d'exécution en parallèle, connecté via un socket TCP. Le protocole de cette communication a été normalisé comme l'interface de contrôle du trafic (Traci). Ceci permet la simulation bidirectionnelle-couplée du trafic routier et le trafic réseau. Le mouvement des véhicules en simulateur de trafic routier (SUMO) se traduit par un mouvement des noeuds dans le simulateur OMNeT++. Les noeuds peuvent alors interagir avec la simulation du trafic routière de déplacement, par exemple, pour simuler l'influence d'IVC sur le trafic routier.

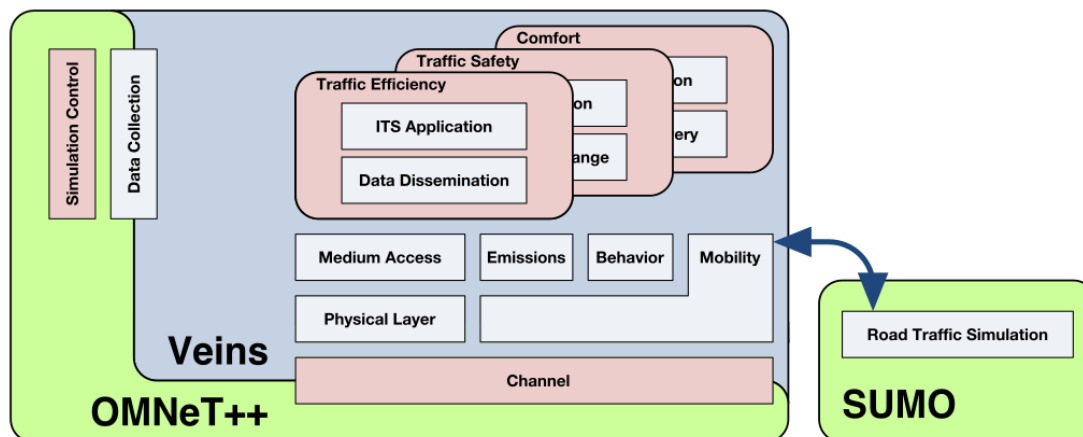


Figure 20: Architecture générale de Veins.

III.6 Etapes de la simulation

Le processus de simulation se fait en plusieurs étapes :

III.6.1 Génération du scénario de mobilité avec SUMO

Etape1 : Dans cette étape, on import d'abord une partie de la carte géographique d'une zone urbain existante dans notre ville «Tiaret» à partir de site 'www.openstreetmap.org' au format *sm*.

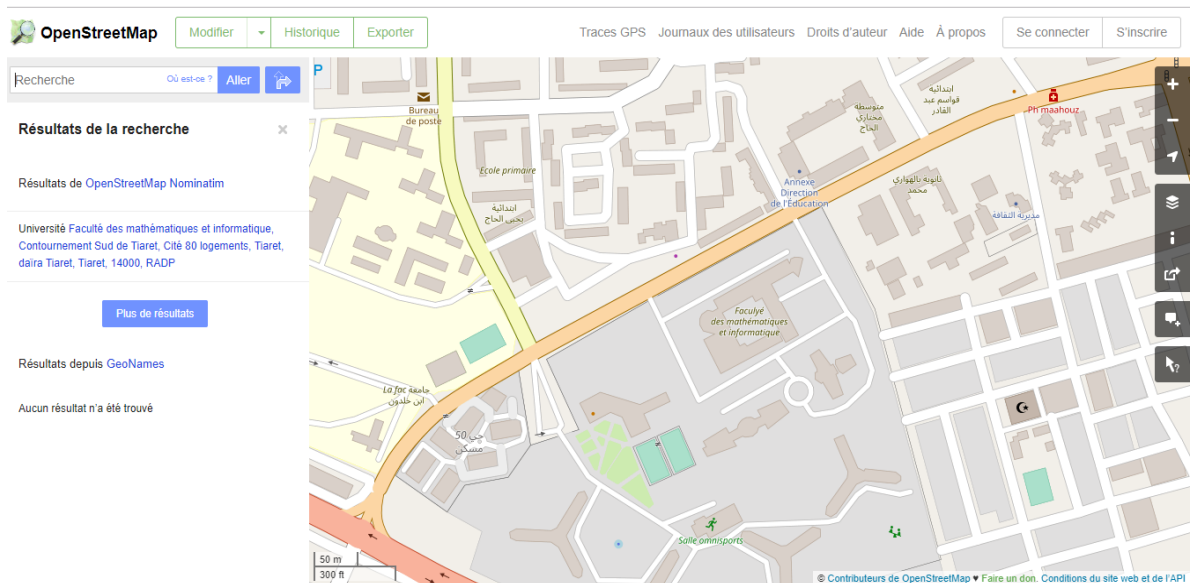


Figure 21: importation du maposm depuis le site openstreetmap.

Etape2 : SUMO nécessite des fichiers d'entrée au format *.xml*, ces fichiers sont détaillés ci-dessous :

- **.net.xml* : représente la carte géographique, dans ce fichier on trouve les noeuds (les intersections) et les liens entre les intersections (les routes), ce fichier est généré à l'aide de l'outil *netconvert* fourni par SUMO. Elle est appelée avec le fichier *map.osm* (importé depuis OpenStreetMap) :

```
root@omnn-VirtualBox:/home/omnet/sumo-0.22.0/bin# netconvert --osm-files map.osm
-o tiaret.net.xml
```

- **.rou.xml* : généré par l'outil *duarouter* fourni par SUMO. Ce fichier combine les informations des fichiers *.net* et *.trips*

```
traceExporter.py trace/          trigger/          trip/
root@omnn-VirtualBox:/home/omnet/sumo-0.22.0/bin# python /home/omnet/sumo-0.22.0
/tools/trip/randomTrips.py --net-file tiaret.net.xml --route-file tiaret.rou.xml
--begin 0 --end 100 --length
calling /home/omnet/sumo-0.22.0/bin/duarouter -n tiaret.net.xml -t trips.trips.
xml -o tiaret.rou.xml --ignore-errors --begin 0.0 --end 100.0 --no-step-log
Warning: No connection between '-193805816#1' and '394843393' found.
Warning: No connection between '-193805816#1' and '394843393' found.
```

- **.poly.xml* : représente les obstacles dans le monde entier tel que les rivières, les bâtiments...etc.

```
root@omnn-VirtualBox:/home/omnet/sumo-0.22.0/bin# polyconvert --net-file tiaret.
net.xml --osm-files map.osm --type-file typemap.xml -o tiaret.poly.xml
Warning: Environment variable $SUMO_HOME is not set, schema resolution will use s
```

- **.sumoConfig.cfg* : c'est un fichier de configuration pour SUMO, il indique les

III.6.2 Exécution de simulation :

Dans un premier temps, il faut d’abord copier les fichiers d’entrée générés par les outils de SUMO dans le répertoire de simulation, ensuite on va lancer le serveur *sumo-veins* à l’aide de la commande : *sumo-luanchd.py -vv -c sumo-gui*, ce serveur permet de créer une connexion entre l’Omnet et SUMO.

Ensuite, on lance l’exécution du fichier *omnet.ini*, Après qu’on lance l’exécution du fichier *omnet.ini* on obtient la topologie qu’on veut la simuler comme le montre les figures suivantes :

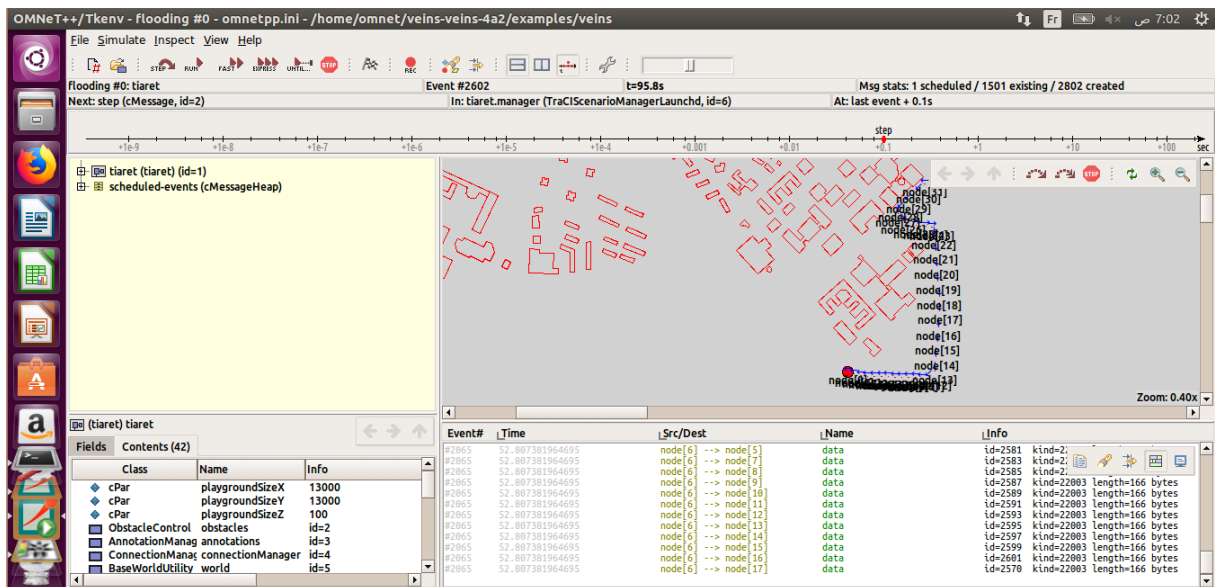


Figure 22: Fenêtre de simulation OMNET++.

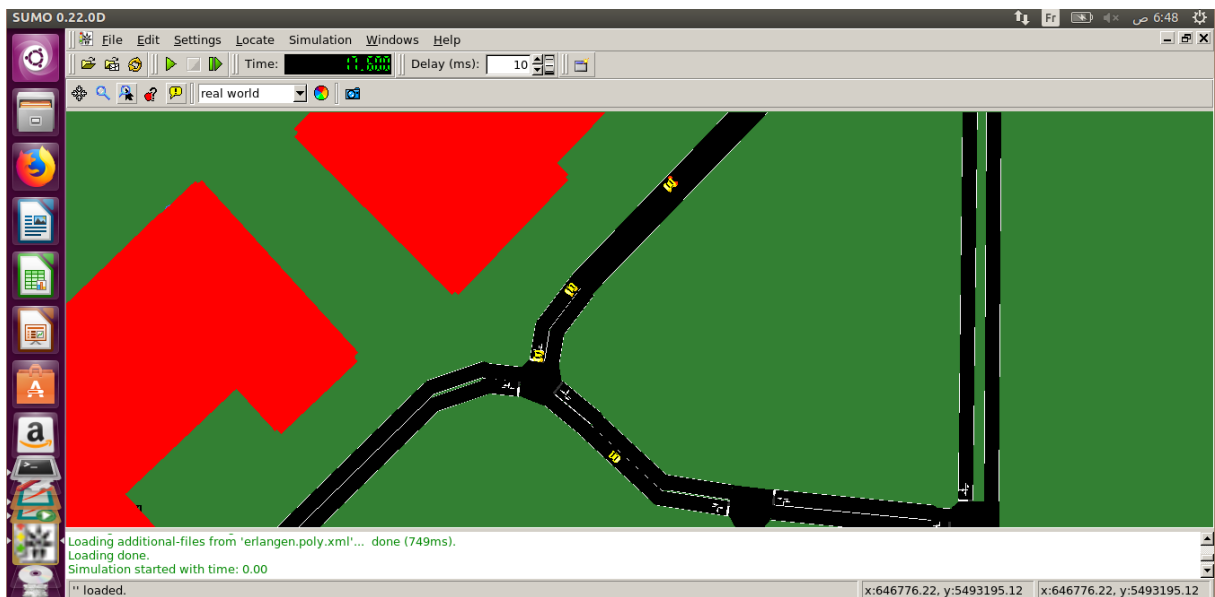


Figure 23: Fenêtre de simulation du SUMO.

III.7 Simulation des nouveaux protocoles dans VEINS

Pour Implémenter notre proposition, nous avons ajouté les protocoles de routage ad hoc (Diffusion, Diffusion sélective et Diffusion probabiliste) dans l'architecture de VEINS .Les protocoles sont les suivants :

III.7.1 Diffusion :

Une approche simple pour effectuer la diffusion est par inondation. Ce protocole fonctionne comme suit: lorsqu'un véhicule reçoit un message diffusé pour la première fois, il le retransmet immédiatement au format broadcast, c'est-à-dire que plusieurs véhicules retransmettent les mêmes messages avec le même identifiant au même moment. Clairement, cela coûte n émissions dans un réseau de n véhicules.

III.7.2 Diffusion sélective:

Lorsqu'un nœud tente de rediffuser un message, ce dernier peut être bloqué par un média occupé, une procédure d'annulation et d'autres messages en file d'attente. Il est possible que nœud entende encore et encore le même message provenant d'autres nœuds de retransmission avant que nœud ne commence réellement à transmettre le message. Par conséquent, le véhicule détecte le support pendant qu'il attend les messages envoyés par ses voisins et compte le nombre de fois qu'il reçoit le même message. À la fin du temps d'attente, le véhicule rediffuse le message s'il l'a reçu moins de k fois et le rejette sinon, k étant un seuil prédéfini.

III.7.3 Diffusion Probabiliste :

Un moyen intuitif de réduire les rediffusions consiste à utiliser la rediffusion probabiliste. Lors de la première réception d'un message diffusé, un nœud le rediffusera avec une probabilité P avec $0 < P \leq 100\%$. Clairement, lorsque $P = 100\%$, ce protocole est équivalent à l'inondation. Notez que pour répondre aux problèmes de conflit et de collision, il est nécessaire d'insérer un petit retard aléatoire (un certain nombre de créneaux) avant de rediffuser le message. Donc, le moment de la rediffusion peut être différencié

III.8 Les critères de performances :

Nous donnons dans ce qui suit des définitions brèves à ces métriques :

- **Le délai de bout en bout** : Représente l'intervalle de temps qui s'écoule entre le

temps d'envoi du paquet, par la source, et le temps de réception de ce paquet par la destination

- **Les paquets envoyés** : des petites suites de bits envoyées constituant une partie d'un message.
- **Les paquets reçus** : des petites suites de bits reçus constituant une partie d'un message.
- **Les paquets perdus** : les paquets peuvent être perdus lors de transfère et ne peuvent pas attendre l'adresse de destination.

III.9 Résultats de simulations :

La performance d'un protocole de réseau ad hoc devrait être évaluée avec le modèle de mobilité qui est le plus proche du scénario réel prévu, ce qui peut faciliter le développement du protocole de réseau VANET.

Le graphique est une représentation de la mobilité d'un nœud :

III.9.1 Protocole de diffusion :

Le nombre de nœuds retransmettant est plus proche du nombre de nœuds du réseau, comme illustré dans la figure suivante :

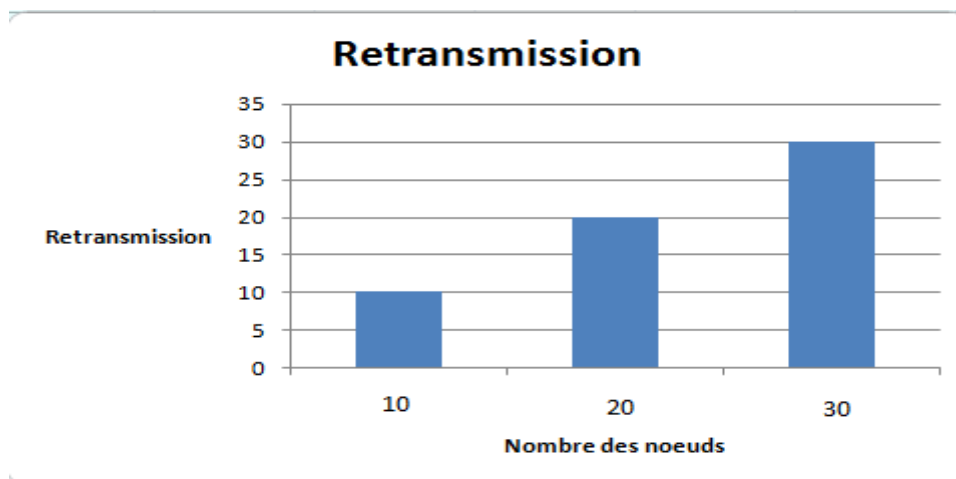


Figure 24:Retransmission.

Par conséquent, le nombre de paquets envoyés augmente, comme illustré dans la figure suivante :

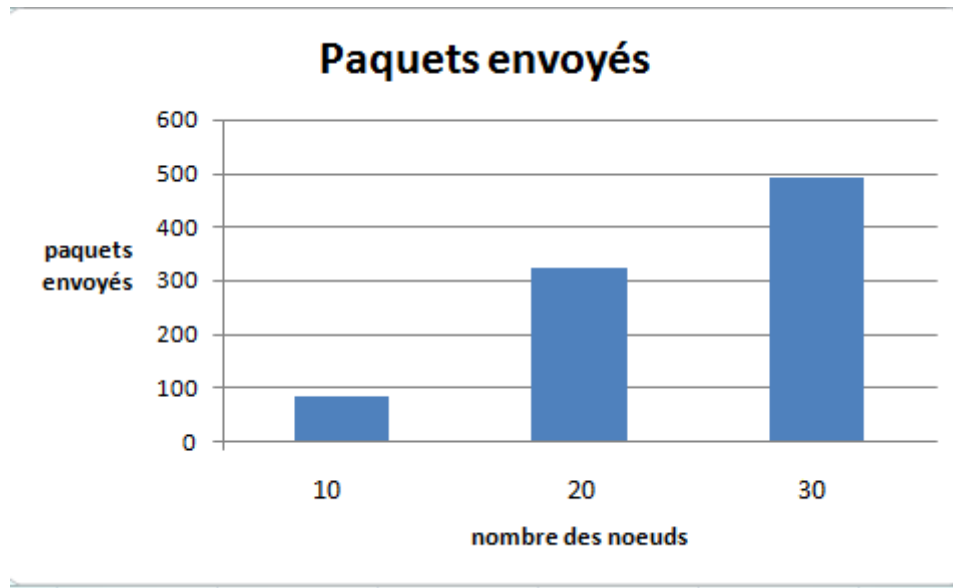


Figure 25: Nombre de paquets envoyés.

Etant donné que le nombre de nœuds retransmettant et le nombre de paquets envoyés augmentent, la probabilité de collision augmente également. Par conséquent, le pourcentage de paquets reçus diminue considérablement, comme on peut le voir aux figure suivante :

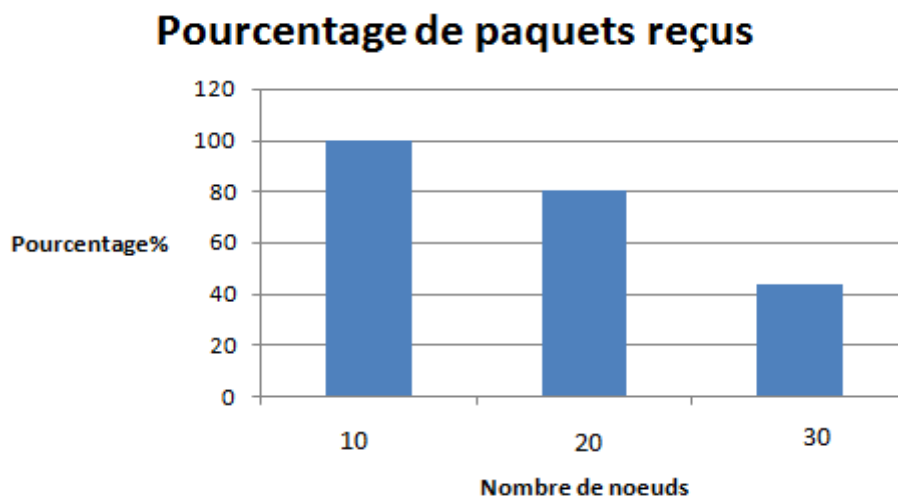


Figure 26: Pourcentage de paquets reçus.

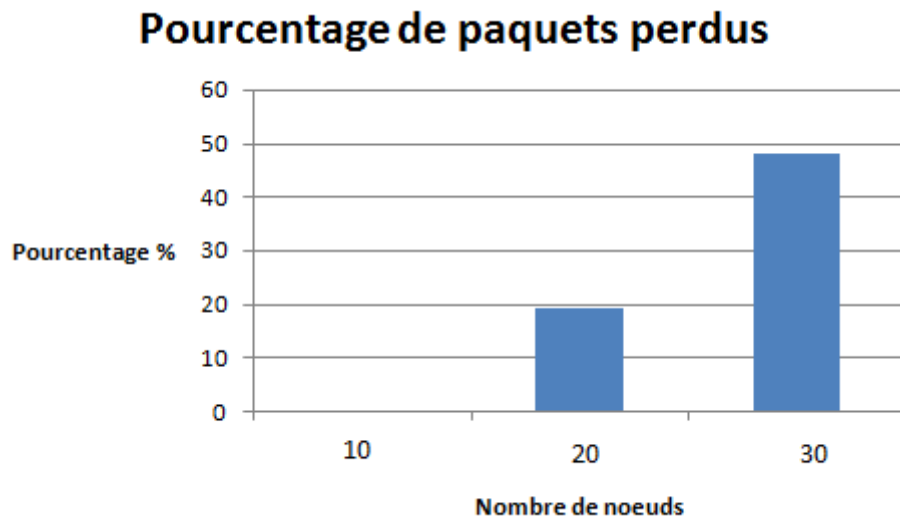


Figure 27: Pourcentage de paquets perdus.

Comme le pourcentage de paquets reçus diminue, le délai augmente également, comme le montre la figure suivante :

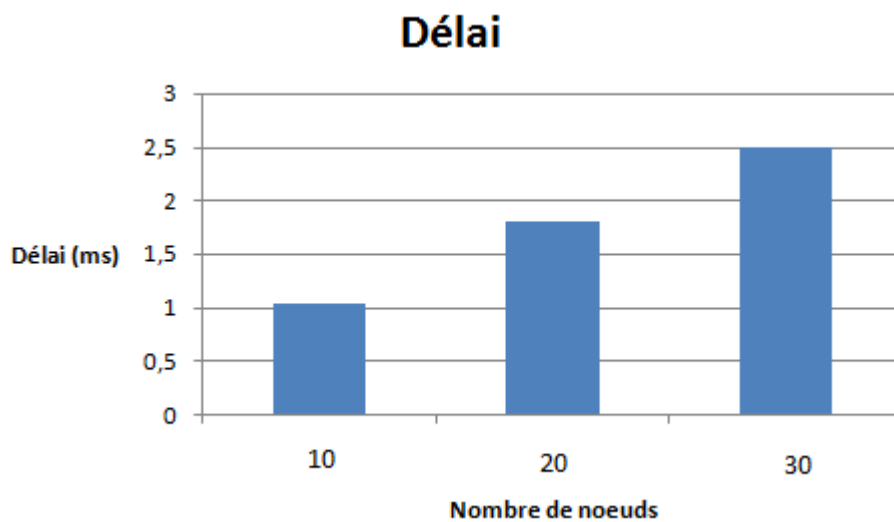


Figure 28: Le délai de protocole de diffusion

III.9.1.1 Conclusion

Selon les résultats précédentes, on peut en conclure que plus le nombre de nœuds augmente, plus les performances du réseau diminuent.

III.9.2 Protocol de diffusion sélective:

Le nombre de nœuds réémetteurs dépend de la valeur de seuil du ce protocole et du nombre de nœuds du réseau, on peut en conclure que le pourcentage de nœuds réémetteurs diminue lorsque le nombre de nœuds dans le réseau augmente. On peut le voir aux figure suivante :

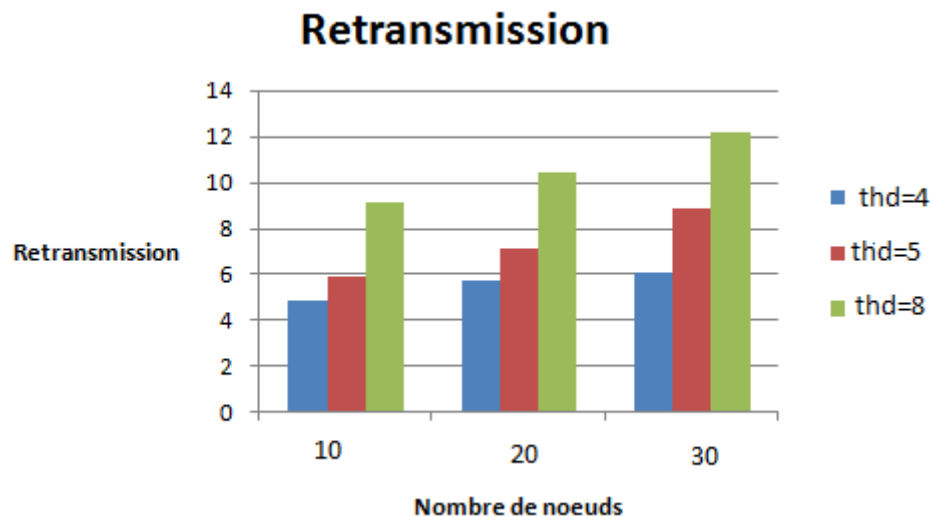


Figure 29: Nombre de transmission

Le nombre de paquets envoyés dépend du nombre de nœuds et de la valeur de seuil du protocole. À mesure que le nombre de nœuds et la valeur de seuil augmentent le nombre de paquets envoyés augmente aussi.

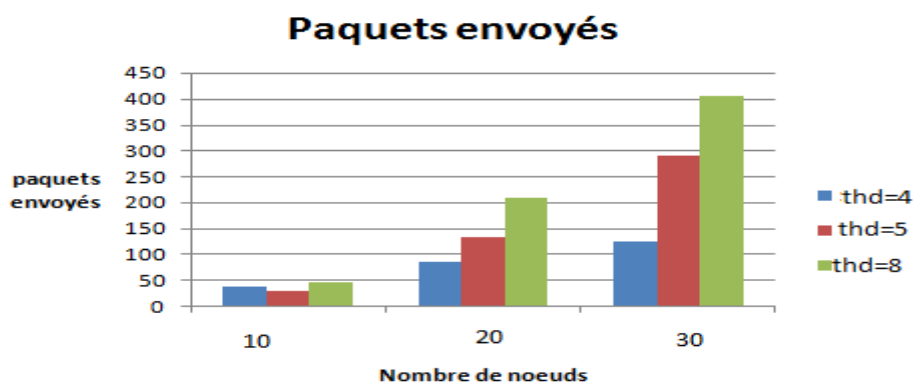


Figure 30: paquets envoyés.

Le retard est directement proportionnel au nombre de nœuds du réseau et à la valeur de seuil du ce protocole.

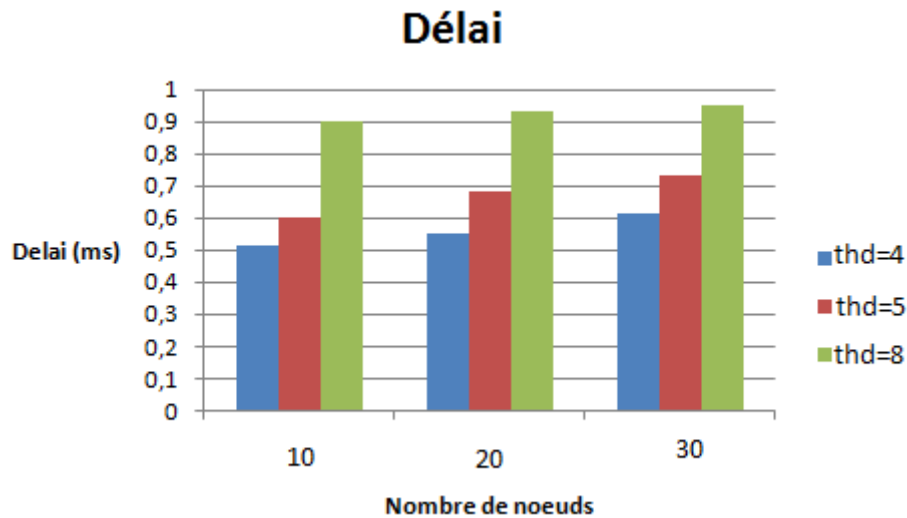


Figure 31: Le délai de protocole de diffusion sélective.

III.9.2.1 Conclusion:

Selon les résultats précédentes, on peut conclure que le principal défi de ce protocole est la sélection d'un seuil approprié. Ainsi, l'utilisation de valeurs de seuil réduites contribuerait à réduire la quantité de paquets retransmis par les véhicules.

III.9.3 Protocole diffusion probabiliste:

Le nombre de nœuds réémetteurs est directement proportionnel à la valeur du seuil de ce protocole. Alors, on peut constater que le pourcentage de nœuds réémetteurs est très similaire à la valeur du seuil. On peut le voir aux figure suivante :

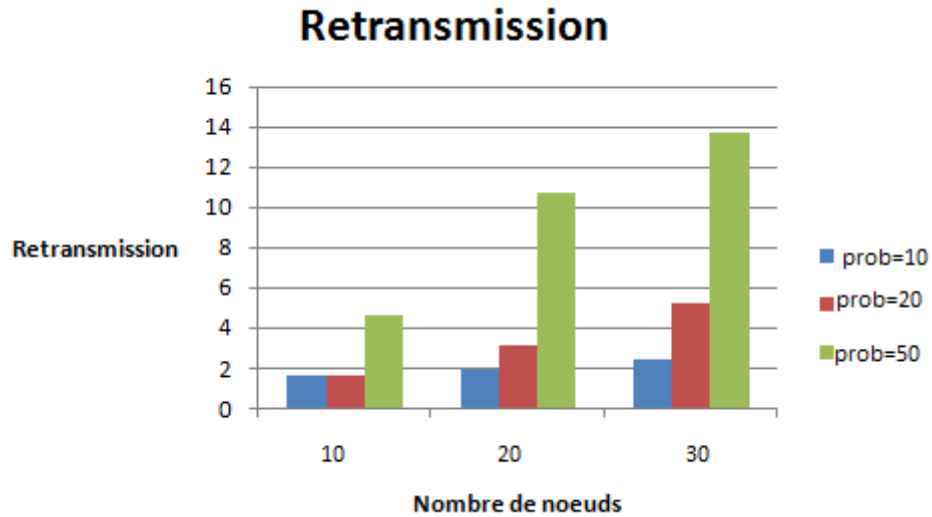


Figure 32: Retransmission

À mesure que la valeur du seuil de protocole augmente, le nombre de paquets envoyés augmente considérablement.

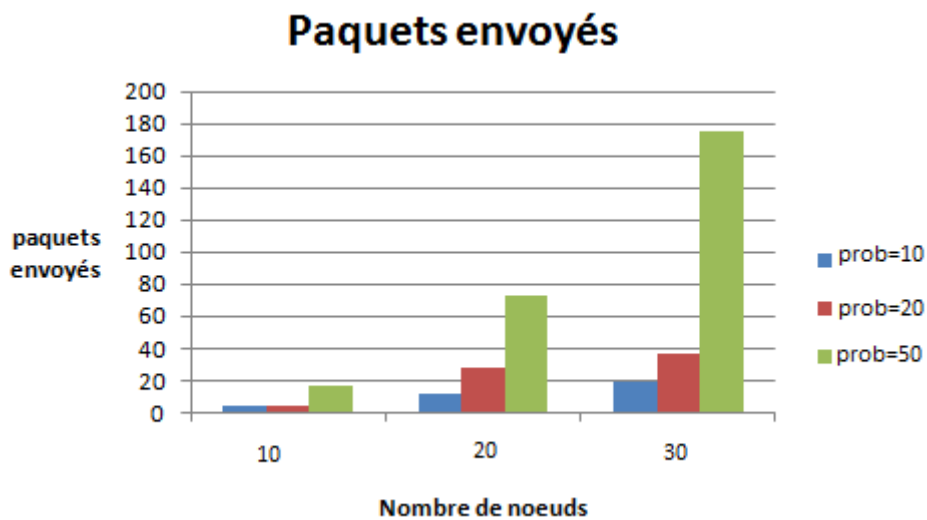


Figure 33: paquets envoyés.

Plus le délai de probabilité augmente, plus le délai augmente. De plus, le nombre de noeuds influence le délai.

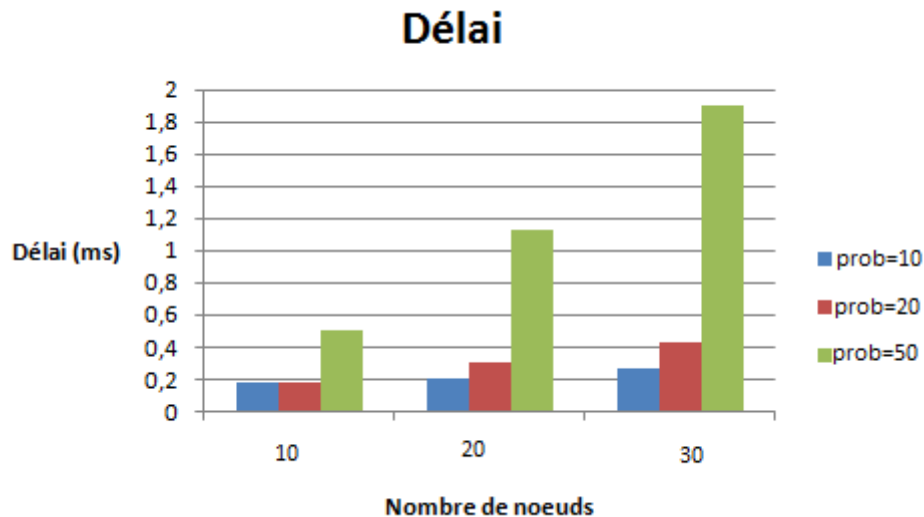


Figure 34: Le délai de protocole de diffusion probabiliste.

III.9.3.1 Conclusions

Selon les résultats précédentes, on peut en conclure que le choix de la valeur de seuil P est décisif dans ce protocole. De même, pour pouvoir sélectionner le seuil P , il faut considérer la caractéristique du réseau et le nombre de nœuds. Si cette valeur est trop petite, le nombre de nœuds réémetteurs est faible, ce qui est bon pour le réseau, mais le pourcentage de nœuds atteints peut être trop faible.

Par contre, si le seuil est trop grand, ce protocole fonctionne comme le protocole de Diffusion.

III.10 Comparaison entre les protocoles Diffusion, Diffusion sélective et Diffusion probabiliste:

Le nombre de nœuds réémetteurs pour les protocoles : diffusion, diffusion sélective et diffusion probabiliste. On peut voir le problème de collision en utilisant le protocole de diffusion. En cas de diffusion probabiliste, on peut constater que les performances du réseau diminuent à mesure que la valeur du seuil augmente.

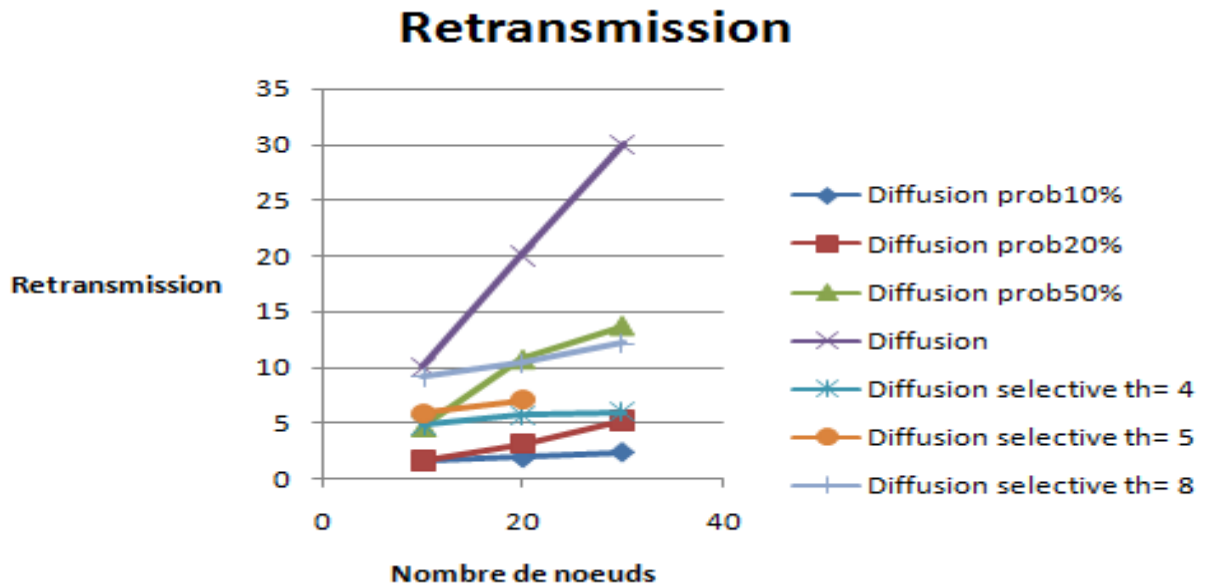


Figure 35: Nombre de retransmission pour les trios protocoles

La figure suivante illustre le délai de chaque protocole. Le meilleure protocole est le protocole de diffusion probabiliste pour un seuil $p = 0,1$, et diffusion sélective est le meilleure pour un seuil égale 3.

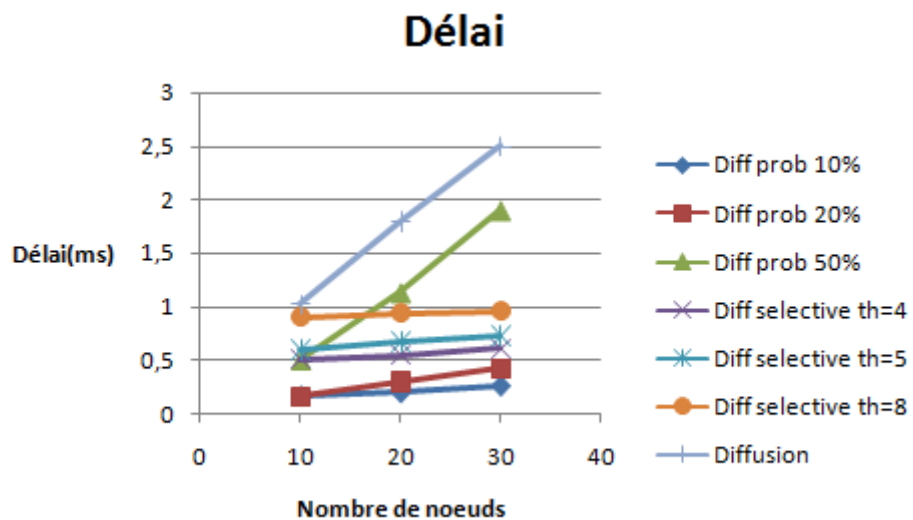


Figure 36:Le délai pour chaque protocoles.

III.11 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons évalué quelques protocoles de routage Diffusion, Diffusion sélective et Diffusion probabiliste dans les VAENT. Nous avons constaté que dans le protocole Diffusion plus le nombre de nœuds augmente plus les performances diminuent, alors ce protocole fonctionne mieux dans le milieu urbain que le milieu autoroutier, d'autre part les protocoles Diffusion sélective et Diffusion probabiliste fonctionnent mieux dans le milieu autoroutier que le milieu urbain.

Donc on peut conclure que dans le milieu urbain le protocole Diffusion a un problème de collision, dans ce cas le meilleur protocole est Diffusion probabiliste avec la valeur de seuil égale 0.1.

Ainsi dans le milieu autoroutier le problème de collision reste, on peut dire que le protocole de Diffusion probabiliste est meilleur si le nombre de nœuds inférieure à 50 , par contre si le nombre des nœuds supérieure à 50 le protocole Diffusion sélective est le mieux.

Conclusion générale

VANET est certainement quelque chose à affût de l'avenir. De nombreux travaux théoriques ont été menés au sein des réseaux et ces quelques expériences ont été menées pour valider cette théorie que le coût de la mise en place de cette architecture est élevé, mais que des efforts supplémentaires sont à prévoir dans un avenir proche. Un réseau de réussite des véhicules va ouvrir une pléthore de services à un grand nombre de spectateurs qui se révèlent être de sauver des vies ainsi que le plaisir.

Les réseaux ad hoc de véhicules constituent un nouveau type de réseaux issu des réseaux ad hoc mobiles (MANET). Il existe des mécanismes et des protocoles spécifiques pour assurer la communication inter-véhicules dans les réseaux VANET.

Dans la suite du manuscrit nous avons présenté le concept de routage dans les réseaux VANET et nous avons déduit que le routage joue un rôle très important et un bon protocole de routage est celui qui est capable de livrer un paquet dans un temps très court et un minimum de bande passante. Nous avons également présenté les simulateurs les plus utilisés dans ce domaine tels que le simulateur de réseau OMNET++ et le simulateur de trafic routier SUMO que nous avons utilisé pour évaluer les trois protocoles choisis (**Diffusion**, **diffusion sélective** et **Diffusion probabiliste**).

Après avoir calculé le nombre total des paquets perdus, le nombre des paquets envoyés et reçus et le délai de bout en bout, les résultats aux quels nous avons abouti montrent que le protocole de routage **Diffusion probabiliste** offre des meilleures performances que **Diffusion** et **diffusion sélective** en milieu urbain et les protocoles **Diffusion probabiliste** et **Diffusion sélective** offrent des meilleures performances au milieu autoroutier.

Durant notre travail, nous sommes vite rendu compte que le domaine de recherche dans les réseaux véhiculaire est tout jeune et qu'il a un long chemin à parcourir. Plusieurs groupes scientifiques s'intéressent à ce type de réseaux qui promet beaucoup pour l'avenir. En effet nous avons eu l'occasion d'utiliser le langage C++ ainsi que les simulateurs OMNET++ et SUMO.

Perspective

À travers ce mémoire, nous avons été en mesure de comprendre et assimiler les différentes étapes par lesquelles un projet de recherche doit progresser. Nous avons également acquis une expérience interne et un bon aperçu des méthodes de travail d'un chercheur, avec une connaissance approfondie dans ce domaine.

Tout au long de ce travail, nous avons développé des techniques et des nouvelles idées prometteuses qui vont nous permettre dans l'avenir proche d'élargir ce sujet de recherche et s'attaquer aux problématiques plus pointues dans le domaine de réseau de VANET et potentiellement autres réseaux de nature proche avec des solutions plus génériques.

Bibliographie

- [1] J. Defaye, “Les différents types de réseaux sans fil”, Conservatoire des arts et métiers Rhône –Alpes- Centre de Lyon 2007.
- [2] S. Rimour, “Généralités sur les réseaux : chapitre 1”, IUT, C. F département informatique, Mars 2002.
- [3] S. Corson and J. Macker, “Mobile Ad Hoc Networking (MANET): Routing Protocol
Performance Issues and Evaluation Considerations”, RFC Editor, United States, 1999.
https://www.academia.edu/24446527/Projet_VANET_20142015_1
- [5] Aoues Abdelaziz, Hammoudi Meryam, Benaissa Youcef, Bensaidane nadjat, (2014-2015), «Les réseaux véhiculaires VANET», Université des sciences et de la technologie Houari-Boumediene. 2014-2015.
- [6] Ayoub Benchabana et Ramla Bensaci, (2014), «Analyse des protocoles de Routages
dans les reseaux VANET», Master Académique, Université Kasdi Merbah-
Ouargla. 2014.
- [7] Ayoub Benchabana et Ramla Bensaci, (2014), «Analyse des protocoles de Routages
dans les reseaux VANET», Master Académique, Université Kasdi Merbah-
Ouargla. 2014
- [8] BENZOUAOUA Abdellah KEBBI Menad, Conception et Réalisation d’un simulateur
dédié pour les réseaux véhiculaires, Master Professionnel, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa,[2015-2016].
- [9] Aoues Abdelaziz, Hammoudi Meryam, Benaissa Youcef, Bensaidane nadjat, (2014-2015), «Les réseaux véhiculaires VANET», Université des sciences et de la technologie Houari-Boumediene. 2014-2015.

Bibliographie

- [10] Talha eTalha Sidahmed Walid, Chouchaoui Ilies, Sahel Houda, Abbad Ali, (2013), «Les réseaux véhiculaires (VANET)» Projet Université des sciences et de la technologie Houari-Boumediene. 2013.
- [11] J. P. Hubaux, S. Capkun and Jun Luo, "The security and privacy of smart vehicles", in IEEE Security & Privacy, vol. 2, no. 3, pp. 49-55, May-June 2004.
- [12] DAOUADI zineb etABBAS Assia , DETECTION D'INTRUSION DANS LES RESEAUX VANETS , Université de Larbi Tébessi –Tébessa, 2016
- [13] WALID BOUKSANI, COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAÎTRISE EN MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE APPLIQUÉES , MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, JUILLET 2017
- [14] Chung-Hsien (Stanley) Hsu, "WAVE/DSRC Development and Standardization", Industrial Technology Research Institute, Information & Communications Research Laboratories, Telematics & Control System Division, October 01, 2010.
- [15] Jerbi Moez, "Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GéoCast bases sur les intersections", Thèse de doctorat de L'université d'Evry-Val d'Essonne, 2008.
- [16] Jonathan Petit, "Surcoût de l'authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires", Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2011.
- [17] Jonathan Petit, " Surcoût de l'authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires", Thèse de doctorat, Juillet 2011, Université de Toulouse
- [18] Y. Toor, P. Mühlethaler, A. Laouiti et A.D.L. Fortelle. (2008). Vehicle ad hoc networks : Applications and related technical issues. *IEEE Communications Surveys and Tutorials* . Pp74-88. 2008.

Bibliographie

- [19] Maihöfer. A survey of geocast routing protocols. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 6, No 2. 2004.
- [20] Khaleda Yacine, Manabu Tsukadaa, José Santab, JinHyeock Choia and Thierry Ernsta .(2009). A usage oriented analysis of vehicular networks: from technologies to applications. *journal of communications*, vol. 4, no. 5. JUNE 2009. Pp 357-368.
- [21] Benchabana et R. Bensaci, “Analyse des protocoles de routage dans les réseaux VANET”, mémoire de Master, Département d’Informatique, Université d’Ourgla, 2014.
- [22] Saidi Abdessamad et Mamem Wafa ,
Amélioration des performances du protocole de routage EGYTAR dans les réseaux VANETs, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen Faculté des Sciences Département d’Informatique,[2016-2017]
- [23] A. A. Ba, *Protocole de routage basé sur des passerelles mobiles pour un accès Internet dans les réseaux véhiculaires*. PhD thesis, l’université de Montréal, 2011.
- [24] TAMIMOU ZAKARIA et BENALLOU ZAKARYA ,(2015), « Simulation d’un Réseau VANET dans un Environnement CLOUD », MASTER
Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMEN,2015
- [25] Ait Ali Kahina. (2012). Modélisation Et Etude De Performances Dans Les Réseaux VANET. Thèse de doctorat de l’Université de Technologie de Belfort-Montbéliard. Mardi 16 Octobre 2012.
- [26] Guizani Badreddine.(2012). Algorithme De Clusterisation Et Protocoles De Routage Dans Les Réseaux Ad Hoc. Thèse de doctorat de l’université de Technologie de Belfort-Montbéliard Tunisie . 04 Avril 2012 . 176. pp 85-115.
[Guizani, 2012] Guizani Badreddine.(2012). Algorithme De Clusterisation Et

Protocoles De Routage Dans Les Réseaux Ad Hoc. Thèse de doctorat de l'université de Technologie de Belfort-Montbéliard Tunisie . 04 Avril 2012 . 176. pp 85-115.

[28]

EXPOSE RIO 2007

[29]

Chaidet et al, 2003]13 : Charles E. Perkins, Elizabeth M. Belding-Royer et Samir Ranjan Das.(2003). Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. *RFC k3561 (Experimental)*. Juillet 2003

[30]

Wu Hao, Fujimoto Richard, Guensler Randall et Hunter Michael.(2004). MDDV: A Mobility-Centric Data Dissemination Algorithm for Vehicular Networks. in *Proceedings of the 1st ACM Workshop on Vehicular Ad hoc Networks (VANET 2004)*. October 2004. Pp 47-56.

[31]

Zhao Jing et Cao Guohong.(2006). VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks. *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings , vol., no.* Avril 2006. Pp.1-12.

[32]

MORA ; a Movement-Based Routing A lgorithm for Vehicul Ad Hoc Networks

[33]

Menouar Hamid. (2008).Prédiction de Mouvement pour le Routage et le Contrôle d'Accès au Canal dans des Réseaux Sans-Fil Véhiculaires. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieur des Télécommunications de Paris. 22/02/2008.

.[35]

Évaluation des performances des protocoles de routage DSR et AODV pour les réseaux véhiculaires en milieu urbain et autoroutier, Présenté par : HOUARI Brahim ZIREM Nassim, 2015 – 2016, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa

.[36]

M. Fiore, J. Härrri, F. Filali, et C. Bonnet. (2007). Vehicular Mobility Simulation for VANETs. *Proc. of the 40th IEEE Annual Simulation Symposium, ANSS'07*. Mars 2007. Pp. 301-309.

[37]

J. Ledy, *Stratégie d'adaptation de liens sur canaux radios dynamiques pour les communications entre véhicules - Optimisation de la qualité de service*. PhD thesis, École doctorale de Sciences et ingénierie pour l'information, mathématiques, 2012.

Bibliographie

- [38]** G. sofiane, *Contribution à la qualité de service dans les réseaux vanet*. PhD thesis, l'université d'Oran, 2015.
- [39]** Chmicha Abdelfatah Franc Thomas
Garcia Damien, RAPPORT
VANET, Centre d'Enseignement et de Recherche en Informatique – 2015-2016