

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Année : 2020

Faculté: Sciences de l'Ingéniorat

Département: Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Intitulé :

Etude de l'impact du modèle de Nakagami sur les performances des protocoles de routage dans les VANET

Domaine : Sciences et Technologie.

Filière : Télécommunication.

Spécialité: Réseaux et télécommunication.

Présenté par :

ABBACI Mohamed Lamine et SBAHI Mohamed Ali

DEVANT Le JURY

Président : Mohamed ZEDAM

MCB UBM Annaba

Directeur de mémoire : Toufik HAFS

MCB UBM Annaba

Examineur: Amira YAHI

MCB UBM Annaba

Remerciements

En premier lieu, nous remercions le Bon Dieu de nous avoir donné la force et le courage et la volonté pour réaliser ce travail et qui nous a procuré ce succès.

En tiens à exprimer toute notre reconnaissance à notre directeur de mémoire, monsieur HAFS TOUFIK. En le remercie de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

En adresse nos sincère remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et on accepté de nous rencontré et de répondre à nos questions durant nos recherches.

Nous adressons bien nos remerciements à nos familles, nos parents, nos sœurs et frères, et aussi à nos amis, qui nous ont soutenu, et ils avaient un rôle essentiel dans la réussite de notre modeste travail.

*Nous ne pourrions clôturer ces remerciements sans nous retourner vers les êtres qui mes soles plus chères, qui ont eu un rôle essentiel et continu pendant ma réussite, et qui sans eux aucune Réussite n'aurait été possible. Nous adressons de tout mon cœur notre remerciements à nos chers parents, nous sommes infiniment reconnaissant pour leurs amours, leurs soutiens
Morals. Qu'ils trouvent dans ce travail le fruit de leur travail.*

Dédicace

Nous dédions ce travail

A nos très chers parents que nous ne pouvons jamais autant

Remercier ;

A nos frères ;

A nos Sœurs ;

A tous nos amis ;

A tous nos enseignants.

Résumé

Les réseaux véhiculaires sont une technologie qui représente aujourd'hui un intérêt certain pour l'industrie automobile. Elle représente une des briques de base sur lesquelles vont se fonder les systèmes de transport intelligents.

Le but des systèmes de transport intelligents, de nos jours, est d'améliorer la sécurité routière et l'efficacité des transports et en plus il fournit un environnement confortable aux conducteurs et à leurs passagers.

Afin de choisir le protocole de routage qui convient le mieux aux réseaux de véhicules (dits VANETs : Vehicular Ad hoc Networks) parmi d'autres protocoles ad-hoc, ces derniers doivent être appliqués, un par un, sur le réseau. Mais vu le coût très élevé de la réalisation concrète d'un VANET, et afin de pouvoir produire différents scénarii de tests, la simulation devient nécessaire avant de mettre ce système réellement en œuvre.

Notre travail dans ce mémoire consiste à étudier l'efficacité et d'évaluer les performances des protocoles de routage AODV, DSDV et DSR sur un réseau véhiculaire VANETs l'environnement spécifique d'une ville.

Mots clés : Réseaux véhiculaires VANET, Protocoles de routage, Evaluation de performances, AODV, DSDV, DSR, simulation, OSM, SUMO, NS2.

الملخص

تعتبر شبكات المركبات تقنية ذات أهمية كبيرة لصناعة السيارات اليوم، وهي تمثل إحدى اللبانات الأساسية التي ستبنى عليها أنظمة النقل الذكية.

الهدف من أنظمة النقل الذكية في الوقت الحاضر هو تحسين السلامة على الطرق وكفاءة النقل بالإضافة إلى توفير بيئة مريحة للسائقين وركابهم.

من أجل اختيار بروتوكول التوجيه الأنسب لشبكات المركبات (ما يسمى بشبكات VANET: شبكات المركبات المخصصة) من بين البروتوكولات المخصصة الأخرى، يجب تطبيق الأخير، واحدًا تلو الآخر، على الشبكة. ولكن نظرًا للتكلفة العالية جدًا لتحقيق VANET، ولكي تكون قادرًا على إنتاج سيناريوهات اختبار مختلفة، تصبح المحاكاة ضرورية قبل تنفيذ هذا النظام فعليًا.

يتكون عملنا في هذه الرسالة من دراسة كفاءة وتقييم أداء بروتوكولات التوجيه AODV وDSDV وDSR على شبكة المركبات VANETS في بيئة محددة للمدينة.

الكلمات المفتاحية: شبكات المركبات VANET ، بروتوكولات التوجيه، تقييم الأداء، ، DSDV ، DSR ، AODV ، المحاكاة، OSM ، SUMO ، NS2.

Abstract

Vehicle networks are a technology that is of great interest to the automotive industry today. It represents one of the building blocks on which intelligent transport systems will be based.

The aim of intelligent transport systems nowadays is to improve road safety and transport efficiency and in addition to provide a comfortable environment for drivers and their passengers.

In order to choose the most suitable routing protocol for vehicle networks (so-called VANETs: Vehicular Ad hoc Networks) among other ad-hoc protocols, the latter must be applied, one by one, on the network. But given the very high cost of realizing a VANET, and in order to be able to produce different test scenarios, simulation becomes necessary before actually implementing this system.

Our work in this dissertation consists of studying the efficiency and evaluating the performance of AODV, DSDV and DSR routing protocols on a vehicle network VANETs in the specific environment of a city.

Keywords: VANET vehicular networks, Routing protocols, Performance evaluation, AODV, DSDV, DSR, simulation, OSM, SUMO, NS2.

Liste des abréviations :

STI : Système de transport intelligent.

DSRC: Dedicated Short Range communications.

MANET: Mobile Ad hoc Net Work.

VANET: Vehicular Ad-Hoc Network.

V2V: Vehicule-to-Vehicule.

V2I: Vehicule-to-Infrastructure.

RSU: Road Side Units.

GPS: Global Positioning System.

BDS : BeiDou Navigation Satellite System.

QoS : Qualité de service.

DSR: Dynamic Source Routing.

RREQ: Route REQUEST.

RERR: Route ERROR.

AODV: Ad Hoc On Demand Distance Vector.

RREP: Route REQUEST Packet.

DSDV: Destination-Sequenced Distance-Vector.

NS: number of sequence.

OLSR: Optimized Link State Protocol.

MPRs : MultiPoint Relays.

ZRP : Zone Routing Protocol.

DTN: *Delay* Tolerant Network.

VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery.

GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing.

GyTAR: Greedy Traffic Aware Routing protocol.

ZOR: Zone of Relevance.

UMB: Urbain Multi Hop Broadcast Protocol.

CH: Cluster Head.

CBLR: Cluster Based Location Routing.

OSM: open street map.

SUMO: Simulation of Urban Mobility.

NS2 : Network Simulator 2

PDR : taux de paquets délivrés

Fcd: (floating car data)

Tr : trace

Nam : Animator

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Réseaux cellulaires.....	5
Figure I.2 : Réseaux ad hoc.....	5
Figure I.3 : Un exemple de réseaux MANETs.....	6
Figure I.4 : Un exemple d'un réseau VANET.....	6
Figure I.5 : Exemple de véhicule intelligent.....	7
Figure I.6 : Les modes de communication.....	7
Figure I.7 : Communication véhicule à véhicule	8
Figure I.8 : Communication Véhicule à Infrastructure.....	8
Figure I.9 : Communication Hybride (V2V, V2I)	9
Figure I.10 : Types d'applications d'un VANET.....	10
Figure I.11 : Exemple de Fonction d'alerte entre véhicules.....	11
Figure I.12 : Exemple de Coopération entre Véhicules.....	11
Figure I.13 : communications point à point et Transfert de données.....	11
Figure I.14 : message d'alerte (accident).....	12

Chapitre II :

Figure II.1 : Classification des protocoles de routage dans les VANETs	18
Figure II.2 : Procédure de découverte de route dans AODV (RREQ).....	21
Figure II.3 : Procédure de découverte de route dans AODV (RREP).....	22
Figure II.4 : Exemple d'échange DE PROTOCOLE DSDV.....	23
Figure II.5 : Exemple de sélection des relais multipoints.....	24

Chapitre III :

Figure III.1 : Flot de simulation avec NS2.....	32
Figure III.2 : Exemple d'une ligne de fichier trace ancien format.....	33
Figure III.3 : Zone d'étude de la ville de Annaba dans OpenStreetMap.....	33
Figure III.4 : Génération de fichier v.net.....	34
Figure III.5 : fichier de route v10.rou.xml.....	34
Figure III.6 : fichier de configuration v10.sumocfg	35
Figure III.7 : la visualisation de fichier v10.sumocfg.....	35

Figure III.8 : fichier sumotrace	36
Figure III.9 : visualisation du contenu de fichier fcd (10.xml).....	36
Figure III.10 : la commande nécessaire pour générer le fichier tcl.....	37
Figure III.11 : Exécution de fichier.tcl.....	37
Figure III.12 : Résultat de l'exécution de fichier .nam.....	38
Figure III.13 : Résultat de fichier trace simulation NS2.....	38
Figure III.14 : Résultat des scripts AWK.....	38
Figure III.15 : Le délai de bout en bout.....	39
Figure III.16 : Taux de livraison de paquets.....	40
Figure III.17 : Le débit moyen.....	41

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Grill d'analyse	28
Tableau III : Les paramètres utilisés dans le scénario de simulation	37

Listes des équations :

Chapitre II :

Equation II.1 : La fonction de densité de probabilité.....16

Equation II.2 : La fonction de Gamma.....16

Chapitre III :

Equation III.1 : Taux de livraison de paquets PDR.....33

Equation III.2 : Le débit moyen.....33

Equation III.3 : Le délai de bout en bout.....33

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Vue d'ensemble sur les réseaux VANET	
I.1.Introduction.....	4
I.2.Les réseaux sans fil.....	4
I.3.Réseaux sans fil avec infrastructure(cellulaire).....	4
I.4.Réseaux sans infrastructure (Ad Hoc)	5
I.5.Les réseaux mobiles (MANETs).....	6
I.6.Les réseaux Véhiculaires Ad Hoc Network (VANETs)	6
I.6.1. Définition.....	6
I.6.2. Les nœuds d'un réseau VANET.....	7
I.6.3. Les modes de communication d'un réseau VANET.....	7
a. Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V).....	8
b. Mode de Communication de véhicule à infrastructure (V2I).....	8
c. Mode de Communication hybride (V2V-V2I-I2I)	9
I.6.4. Les caractéristiques des VANETs.....	9
a. Energie.....	10
b. La mobilité et la connectivité et la topologie de réseau.....	10
c. Localisation.....	10
d. Nœuds réseau abondants.....	10
I.7. Les applications des réseaux VANET.....	10
I.7.1 Applications de gestion du trafic routier.....	11
I.7.2 Applications de confort	11
I.7.3 Applications de sécurité du trafic routier.....	12
I.8. Problèmes liée aux VANETs.....	12
I.8.1. La sécurité.....	12
I.8.2. Qualité de service (QoS).....	13
I.8.3. Routage.....	13
I.9.Conclusion.....	14

Chapitre II : Le routage dans les réseaux VANETs

II.1. Introduction	15
II.2 Définition de la mobilité	16
II.3 Modèle de Nakagami	16
II.4 Routage dans ad hoc	16
II.5 Routage dans les VANETs	17
II.6 Les protocoles de routage dans les réseaux VANETS	17
II.6.1 Les protocoles basés sur la topologie	19
II.6.1.1 Les protocoles réactifs.....	19
II.6.1.1.1 Le protocole DSR	19
II.6.1.1.2 Le protocole AODV.....	20
II.6.1.2 Les protocoles réactifs	22
II.6.1.2.1 Le protocole DSDV	22
II.6.1.2.2 Le protocole OLSR.....	24
II.6.1.3 Les protocoles hybrides.....	25
II.6.2 Les protocoles basés sur la localisation géographique	25
II.6.2.1. Les protocoles géographiques (DTN)	25
II.6.2.2. Les protocoles géographiques (Non-DTN)	26
II.6.2.3. Les protocoles géographiques Hybride.....	26
II.6.3. Les Protocoles basés sur le mode de diffusion	26
II.6.3.1. Les protocoles Géo-caste.....	26
II.6.3.2. Les protocoles Broad-caste.....	26
II.6.4. Les protocoles de routage basés sur les clusters (groupes)	27
II.6.4.1. Les protocoles CBLR.....	27
II.7. Conclusion	29
Chapitre III : Evaluation des performances des réseaux VANET.	
III.1. Introduction	31
III.2 Logiciels utilisés	31
III.2.1 Le simulateur de trafic routier SUMO	31
III.2.2 Simulateur Network Simulator 2	31
III.2.2.1 Flot de simulation	32

III.3 Contexte d'exécution de la simulation	33
III.3.1 Les critères de performances	33
III.4 Etapes de la simulation	34
III.4.1 téléchargement d'une carte réelle OSM	34
III.4.2 Préparation de la carte pour utilisation dans SUMO	34
III.4.3 Génération des routes dans SUMO	35
III.4.4 simulation SUMO	36
III.4.5 génération de fichier fcd (floating car data) et fichier TCL	36
III.4.6 Préparation des fichiers TCL avant la simulation	37
III.4.7 Exécution de la simulation	38
III.5 Résultats de simulations et Discussions	39
III.5.1 Le délai de bout en bout	39
III.5.2 Taux de livraison de paquets	40
III.5.3 Le débit moyen	41
III.6 Conclusion	42
Conclusion générale	43

Introduction générale :

Chaque année, le monde voit une augmentation des ventes de voitures. Cette situation a conduit à une croissance du trafic routier qui a fortement aggravé le problème de congestion des systèmes de transport et a créé un risque significatif pour la sécurité des personnes. En réalité, la circulation automobile dans certaines villes du monde, comme Moscou, Pékin, Houston ou Alger, est devenue une épreuve quotidienne en raison des embouteillages. A Moscou par exemple, il y a en moyenne plus de deux heures d'embouteillage par jour. Un problème encore plus important est celui de la sécurité routière. Résultats du recensement par l'OMS (Organisation Mondiale pour la Santé) en 2018, sur la prévention des accidents de la circulation, ont révélé que les accidents de route provoquent chaque année plus de 1,35 million de décès et entre 25 à 55 millions de traumatismes non mortels. Notamment que l'Algérie occupe la troisième place dans le bilan des décès dus aux accidents de la circulation . De très nombreuses initiatives ont été prises par les gouvernements, les associations et les constructeurs automobiles pour améliorer la sécurité routière et résoudre les problèmes de circulation. Parmi ces initiatives, les campagnes de sensibilisation et de prévention routière . Une autre solution parue dès le début des années 1990 est celle des Systèmes de Transport Intelligent (STI) (ou ITS pour Intelligent Transportation Systems) Ces systèmes consistent en l'intégration des technologies de l'information et de la communication aux infrastructures de transport et aux véhicules dans le but de partager les informations permettant d'améliorer l'efficacité des systèmes de transport, la sécurité et le confort des usagers.

En 2002, une nouvelle technologie de communication, dédiée spécifiquement aux STI, a émergé. Cette technologie, nommée DSRC pour Dedicated Short Range communications, supporte les communications à moyenne et à courte portée qui peuvent être de véhicules-à-infrastructure (V2I Vehicle-to-Infrastructure) ou en mode ad hoc de véhicule-à-véhicule (V2V Vehicle-to-Vehicle ou VANET pour Vehicular Ad hoc Network).

L'intérêt que représentent les réseaux véhiculaires pour les systèmes de transport encourage de plus en plus les organismes de normalisation, le monde académique et les industries à œuvrer pour la définition et le développement de solutions et standards qui répondent aux spécificités de cette classe de réseaux.

Toute nouvelle solution passe par un processus d'évaluation et de validation avant son éventuel déploiement. Le moyen idéal de réaliser cette tâche est de pouvoir effectuer des tests

Dans des environnements réels. Cependant, de par la nature distribuée, l'environnement et la topologie complexe des réseaux véhiculaires, une mise en œuvre réelle peut être difficile aussi bien sur le plan économique que logistique. Pour contourner ce problème, la simulation est le moyen le plus largement utilisé. En effet, il est plus facile et moins cher, par le biais de la simulation, de concevoir, d'analyser et d'évaluer les performances de toute solution. Un paramétrage approprié permet de reproduire les différents scénarios de l'environnement et d'analyser leur impact sur les protocoles et applications développés.

Malgré ce développement, le routage dans les réseaux VANETs a laissé des points mystérieux pour les chercheurs du domaine à cause de la forte mobilité des véhicules ce qui cause des changements fréquents de la topologie.

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude nous avons étudié la performance et l'évaluation des différents protocoles de routage dans un environnement véhiculaire (PDR, throughput, end to end delay) en présence du modelé d'atténuation de nakagami dans les réseaux ad-hoc tout en faisant une comparaison entre les protocoles de routage géographique basé sur la position et d'autres classique basé sur la topologie.

Chapitre I

Vue d'ensemble sur les réseaux VANET

I.1. Introduction :

Depuis leur apparition, les réseaux sont devenus de plus en plus rapides et performants. Les premiers chaînons de cette évolution sont les réseaux filaires, qui sont encombrants et rigides. Les réseaux ont ensuite gagné en liberté avec l'adoption des technologies sans fil, offrant plus de souplesse, plus de rapidité et moins de frais. Ensuite, les réseaux informatiques sont entrés dans l'ère de la mobilité. De nouvelles technologies ont vu le jour, permettant aux unités du réseau de se déplacer librement, tout en étant connectées entre elles.

Les communications sans fil ont connu un grand succès au cours des deux dernières décennies. Ces technologies ont été fortement exploitées pour l'intégration des applications multimédias ces dernières années, parmi celles récentes les réseaux véhiculaires (VANETs), très inspiré des MANET (réseau mobile ad hoc), VANET permet aux véhicules de communiquer via des messages d'alertes de sécurité envoyés entre eux.

Dans cette partie, nous allons présenter les différentes catégories de réseaux sans fil, depuis les réseaux sans fil cellulaires jusqu'à les réseaux véhiculaires VANETs qui constitue une nouvelle forme des réseaux ad hoc et nous aborderons les différents concepts liés à ce type de réseaux.

I.2. Les réseaux sans fil :

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]

I.3. 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 laquelle 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. [2]

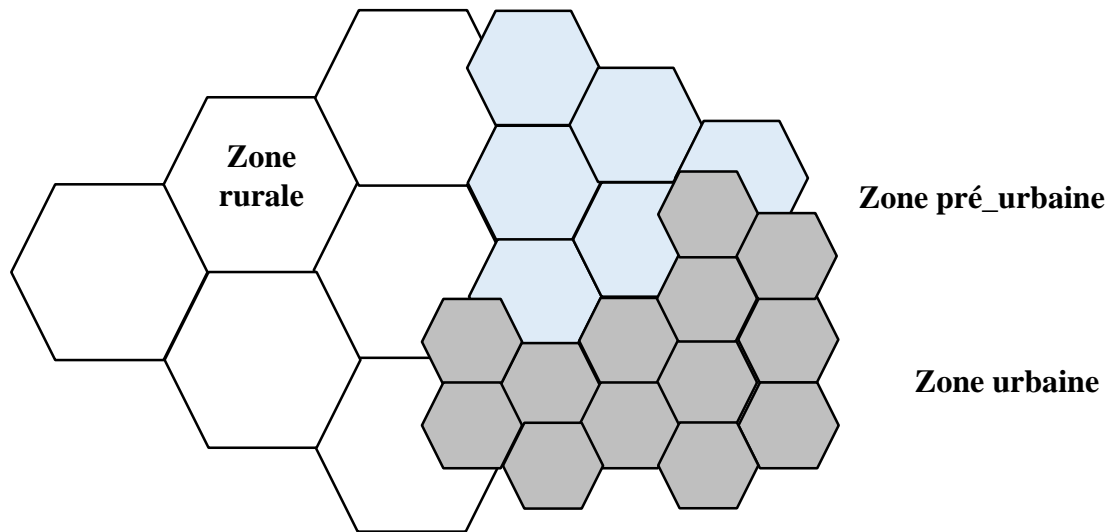


Figure I.1 : réseaux cellulaires

I.4. 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. [2]



Figure I.2 : réseaux ad hoc [2].

I.5. Les réseaux mobiles (MANETs) :

Le concept des réseaux mobiles Ad-hoc essaie d'introduire la notion de la mobilité à toutes les composantes. Les hôtes mobiles sont dynamiquement interconnectés et forment une infrastructure réseau avec des liens sans fil sans l'utilisation de l'infrastructure fixe ; ils sont libres de se déplacer d'une façon aléatoire et peuvent rejoindre ou quitter le réseau d'une manière totalement dynamique sans informer le réseau et sans effet de bord sur les communications des

autres membres, par conséquent la structure du réseau change fréquemment et d'une manière imprévisible. [3]

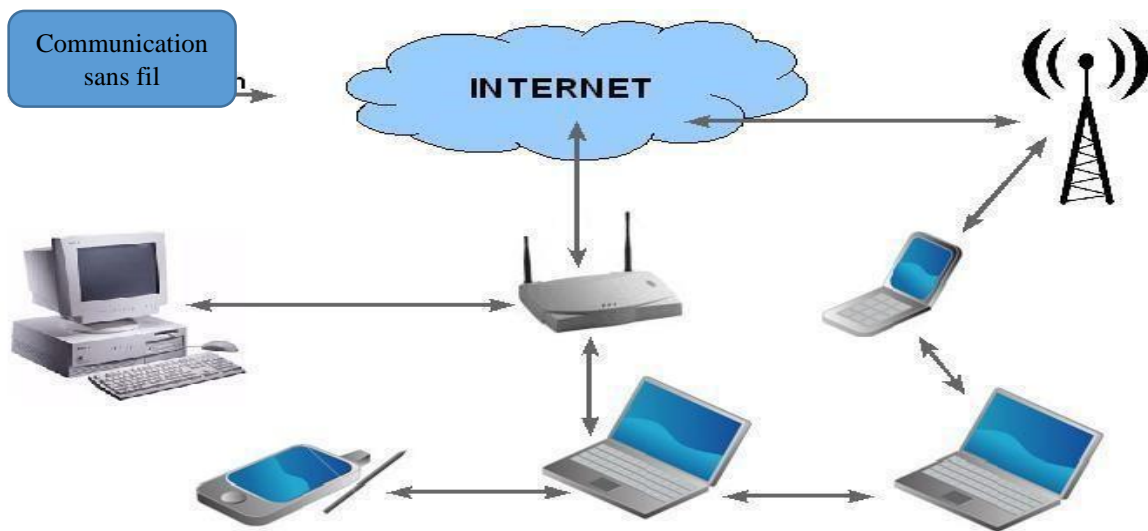


Figure I.3 : Exemple de réseaux MANETs [4] .

I.6. Les réseaux Véhiculaires Ad Hoc Network (VANETs) :

I.6.1. Définition :

Un réseau VANET est une particularité des réseaux MANETs. Les nœuds mobiles dans ce réseau sont des véhicules (intelligents) équipés par des moyens de communication (Calculateurs, carte réseau et des capteurs) ; ces véhicules se communiquent entre eux (V2V) pour l'échange de l'information ou avec des stations de base (V2I) placée tout au long des routes. [3]

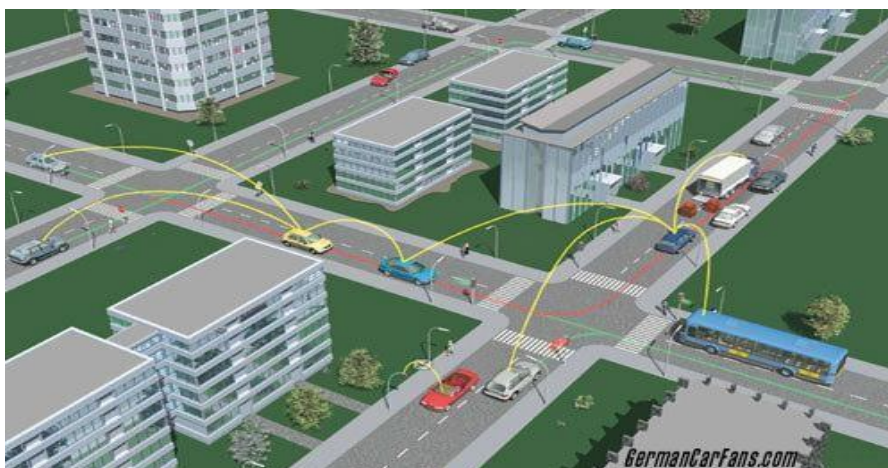


Figure I.4 : Exemple de réseau VANET [5]

I.6.2. Les nœuds d'un réseau VANET :

Les nœuds 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.

[6]

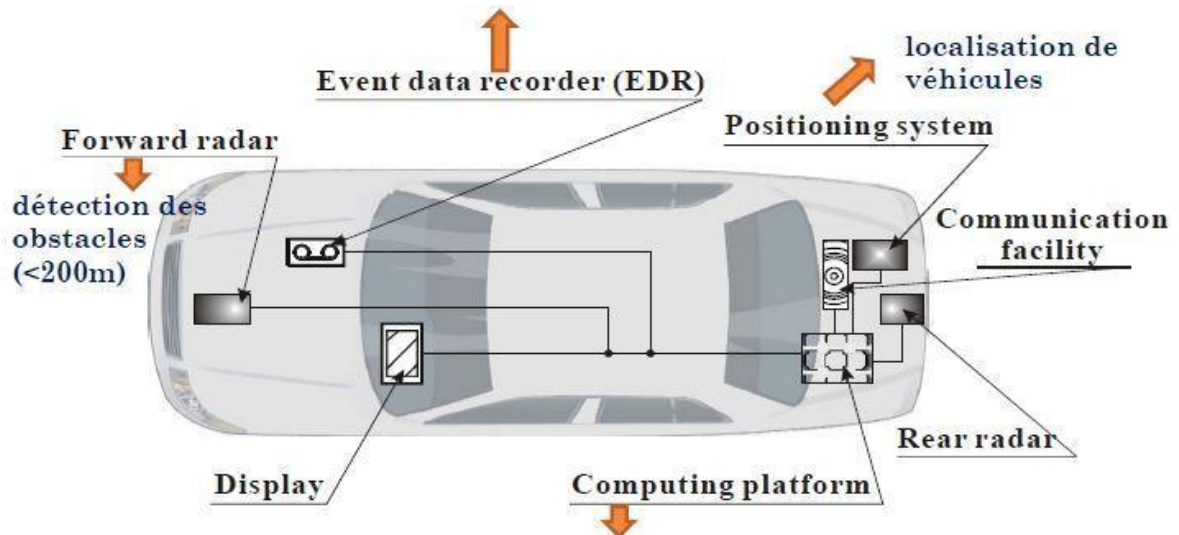


Figure I.5 : Exemple de véhicule intelligent [7]

I.6.3 Les modes de communication d'un réseau VANET :

Constituent trois modes différents de communication entre les véhicules

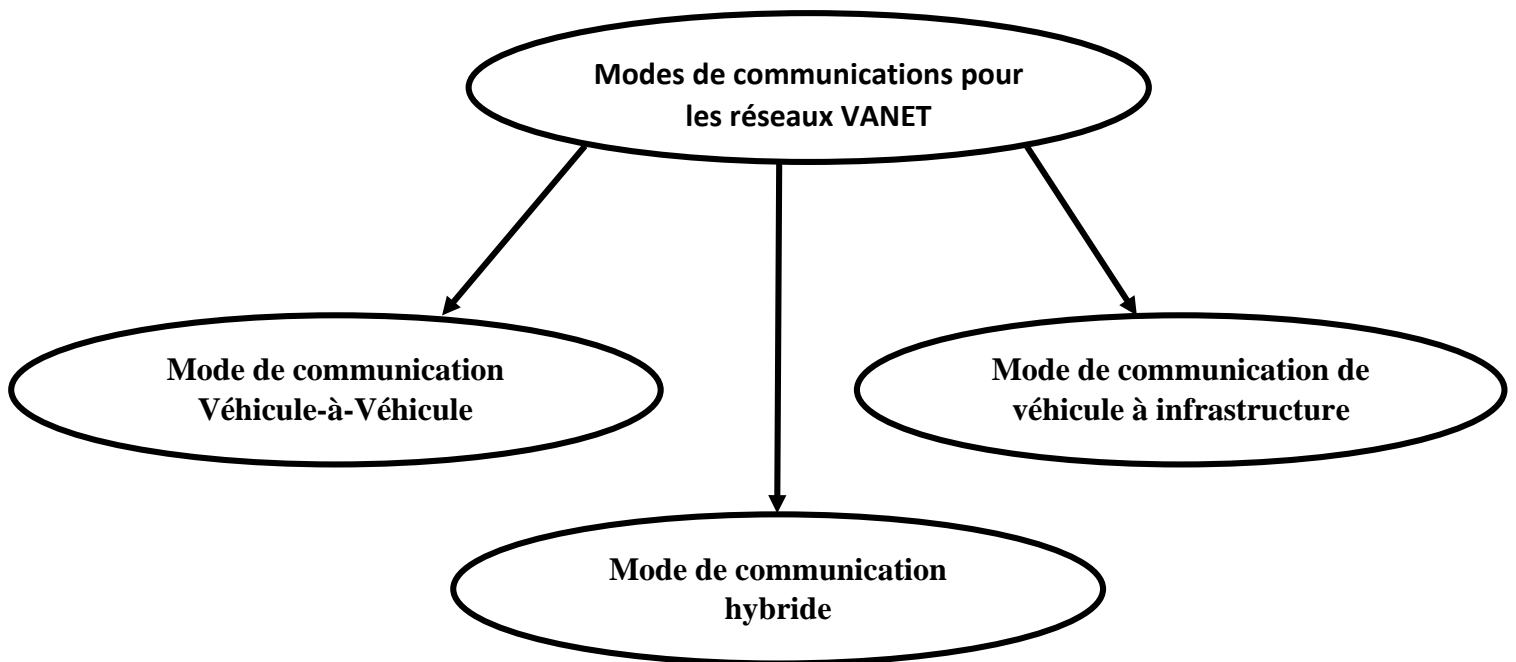


Figure I.6 : Les modes de communication

a. Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V) :

Ce mode de communication fonctionne suivant une architecture décentralisée basé sur un système distribué autonome, les véhicules sont équipés de la technologie qui permet aux véhicules de communiquer entre eux et cette communication moins couteuse et plus flexible [7].

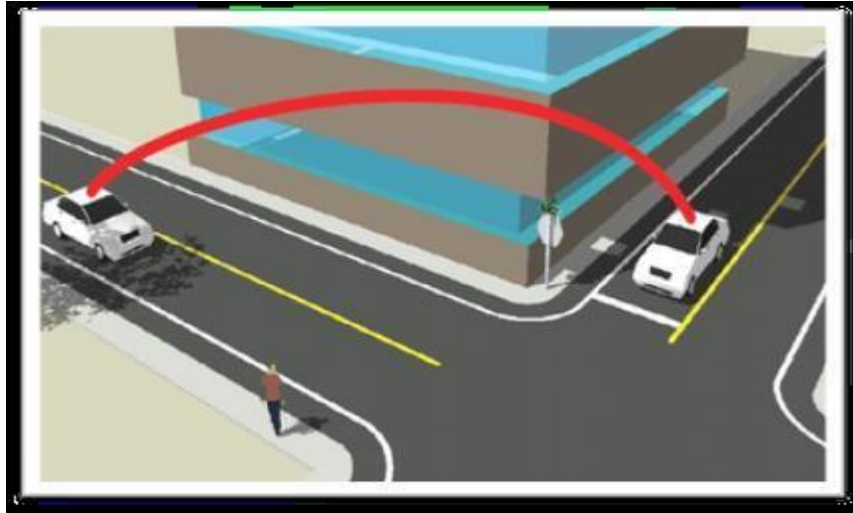


Figure I.7 : Communication véhicule à véhicule [8].

b. Mode de Communication de véhicule à infrastructure (V2I) :

Dans le mode (V2I) la notion de centralisation, dans laquelle les véhicules se Communiquent en utilisant les ressources partagées et démultiplie les services fournis grâce à des points d'accès déployés au bord de la route. Ces points d'accès sont également connus sous le nom (Road Side Units). Cette architecture peut être utilisée dans les scénarios comme accès à Internet, contrôle de vitesse...etc. [7].

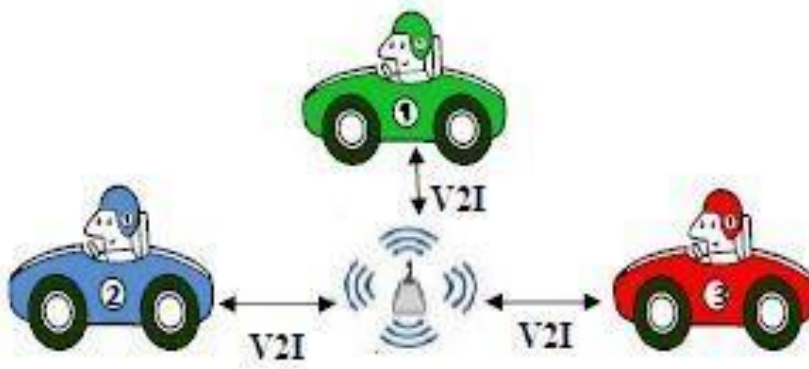


Figure I.8 : Communication Véhicule à Infrastructure [7].

c. Mode de Communication hybride (V2V-V2I-I2I) :

Le mode hybride est une combinaison des deux modes précédents V2V et V2I. On combine ici les deux architectures, centralisée et décentralisée, pour avoir une communication très intéressante et économique. En effet, l'utilisation de voitures comme relais prend son importance pour limiter et éviter de mettre des stations de base dans chaque coin de rue [7].

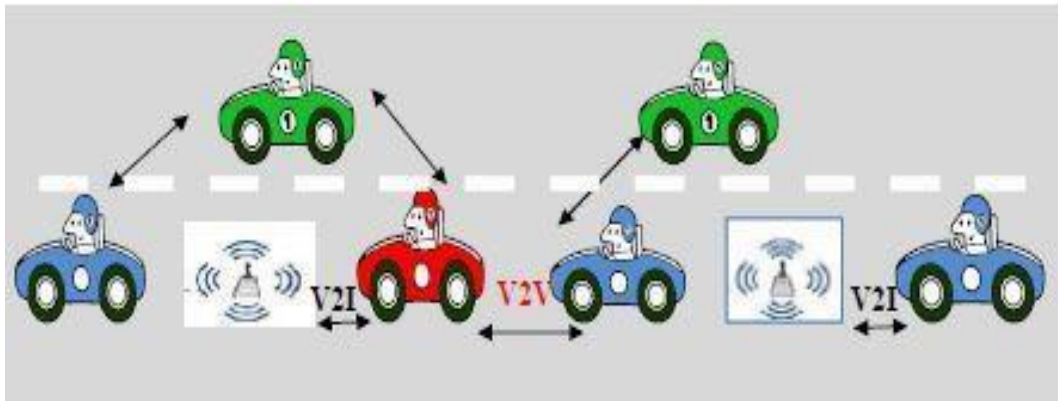


Figure I.9 : Communication Hybrides (V2V, V2I) [7].

I.6.4. Les caractéristiques des VANETs :

Les réseaux véhiculaires ont des caractéristiques spécifiques qui les distinguent des réseaux Ad-hoc (réseaux MANETs et les réseaux des capteurs).

a. Energie :

Dans les réseaux ad-hoc mobiles la contrainte d'énergie représente un défi pour les chercheurs, considérée comme un facteur limitant. Par contre dans les réseaux véhiculaires

VANET, les nœuds disposent d'une quantité suffisante d'énergie et ils sont censés avoir une grande capacité de traitement et stockage de données [9].

b. La mobilité et la connectivité et la topologie de réseau :

La vitesse des nœuds dans les réseaux VANETs est très élevée que dans les réseaux MANETs. Ainsi, que dans le réseau VANET, les véhicules peuvent rejoindre et quitter la zone radio de connectivité dans un temps très courte [9].

c. Localisation :

Il existe de nombreux systèmes de géolocalisation, que les véhicules peuvent utiliser pour déterminer leur emplacement notamment le (GPS) (Global Positioning System), (Beidou) (BeiDou Navigation Satellite System ou BDS) ...etc. [10].

d. Nœuds réseau abondants :

Les réseaux VANET caractérisée par une forte densité de véhicules, et pour cela c'est plus gros et plus compliqué par rapport aux réseaux MANET [11].

I.7. Les applications des réseaux VANET

Les principales applications des réseaux VANET peuvent être placées selon le service offert en trois grandes catégories, chaque catégorie peut avoir diverses classes, et sur chaque classe plusieurs applications peuvent être distinguées.

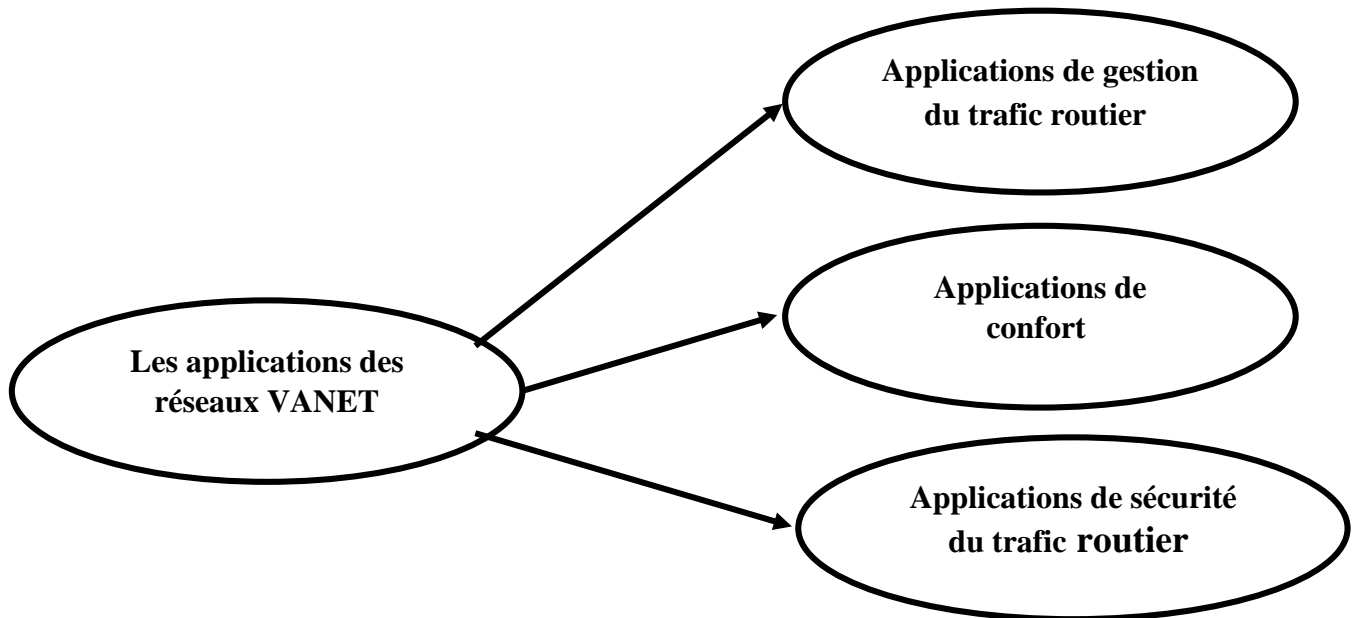


Figure I.10 : Types d'applications d'un VANET.

I.7.1. 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. Grace à la communication entre véhicules, et sont des applications en temps réel comme par exemple coopération entre les véhicules, faciliter le passage des véhicules d'urgence, Un message d'alerte en cas d'encombrement [8].



Figure I.11 : Fonction d'alerte entre véhicules [8]



Figure I.12 : Coopération entre Véhicules [8]

I.7.2. Applications de confort :

Ces applications sont spécialement conçues pour assurer le confort de conducteur et fournir des services pour localiser des stations de service et des restaurants sur l'autoroute. Un autre type d'application de confort sont les communications point à point entre deux conducteurs qui voyagent ensemble. Ils peuvent ainsi s'échanger des messages ou partager des données (vidéo, musique, itinéraire, jeux en réseau) [9].

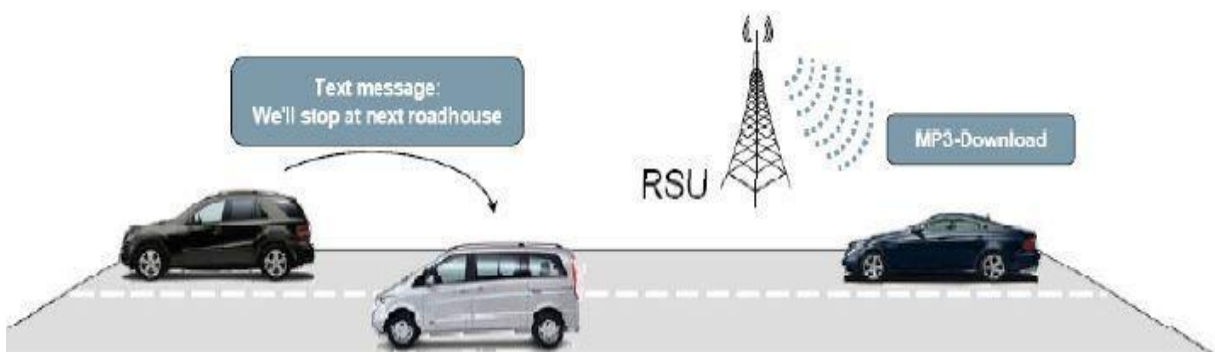


Figure I.13 : communications point à point et Transfert de données (musique MP3)[12].

I.7.3. Applications de sécurité du trafic routier :

Ces applications permettent d'envoyer des messages d'alerte aux voitures en cas d'accident, de fournir des informations sur la route en cas de travaux d'entretien, des obstacles ou des ralentisseurs sur la route. Le temps dans ces applications doit être un facteur très important, plus le temps de diffusion est court, plus l'application est efficace [9].



Figure I.14 : message d'alerte (accident) [12].

I.8. Problèmes liée aux VANETs :

Il existe plusieurs défis qui caractérisent les réseaux véhiculaires que l'on peut résumer en ces points :

I.8.1. La sécurité :

Dans les réseaux véhiculaires la sécurité pose un grand problème et un défis majeur pour dans la conception architecturale des réseaux et la conception des protocoles de communication. Les services de sécurité se diffèrent selon les fonctions des applications et comprennent en générale défèrent mécanismes tel que la confidentialité, l'authenticité, l'intégrité, la non répudiation, la disponibilité, la cohérence des données. Ces mécanismes et conçus pour détecter, prévenir ou contrer une attaque de sécurité.

La satisfaction de ces exigences dans des systèmes aussi dynamiques et mobiles que les réseaux véhiculaires sont difficile mais particulièrement importante ; étant donné que des vies humaines sont concernées. [13]

I.8.2. Qualité de service (QoS) :

La bonne qualité de service dépend des applications supportées. Ou la principale contrainte des applications est la latence. Pour que les informations ou les messages soient valides et considérés comme pertinents et significatifs, ils doivent arrivés aux destinataires dans des délais très courts. [14]

I.8.3. Routage :

Le rôle des protocoles de routage est d'acheminer et assure un échange d'information Afin d'envoyer en temps opportun et correctement des paquets de données entre les nœuds d'une manière efficace, comme les réseaux ad hoc (VANETs) sont des réseaux sans infrastructure donc le routage est basé sur des communications multi-saut, cela rend la communication entre deux ou plusieurs, nœuds possible mêmes s'ils ne sont pas dans la même portée de transmission radio. Les problèmes liés aux réseaux VANETs ne sont pas encore tous résolus. Beaucoup de chercheur dans ce domaine rencontre un défi qui leur pose le routage face à l'environnement car les VANETs sont caractériser par une forte mobilité ce qui rend les changements de la topologie du réseau très fréquents, ce qui cause l'instabilité des chemins entre les nœuds [15].

I.9. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents concepts de base pour la description des réseaux VANETs. Nous sommes commencés par la présentation des définitions globales de réseaux sans fils, réseaux Ad-hoc, en suite les réseaux MANETs et les réseaux VANETs. Nous avons cité aussi les modes de communications, caractéristiques, applications, protocoles de routages et différents défis liée aux VANETs.

Chapitre II Le routage dans les réseaux VANETs

II.1 Introduction :

La mobilité est un paramètre primordial dans les VANET, avec un bon simulateur, plus le modèle de mobilité est réaliste, plus les résultats de la simulation sont proches de la réalité. Le routage dans les réseaux VANETs est une tâche difficile, car la mobilité des nœuds entraîne des changements de topologie de réseau d'une manière continue ce qui impose la mise en place des mécanismes plus robustes et flexibles pour rechercher et maintenir les routes. Lorsque les nœuds du réseau se déplacent, les chemins établis préalablement peuvent se rompre et les protocoles de routage doivent dynamiquement rechercher d'autres voies possibles. Avec le changement dynamique de la topologie, même le maintien de la connectivité est très difficile. Par ailleurs, en plus des problèmes causés par les changements de topologie fréquents dans les réseaux mobiles, les protocoles de routage dans VANETs sont contraints à d'autres facteurs tels que la faible bande passante, la consommation d'énergie limitée, et les taux d'erreurs élevés, qui peuvent tous être inhérents à l'environnement sans fil. Dans ce chapitre, nous allons présenter tout d'abord la mobilité de manière générale, ensuite nous allons choisir le modèle de mobilité **Nakagami** dans VANET. Nous citons aussi les différentes familles des protocoles de routage dans les réseaux VANETs. Enfin nous allons présenter les principaux protocoles de routage utilisés dans les réseaux VANETs pour tirer profit de leurs performances.

II.2 Définition de la mobilité :

La mobilité a un rôle essentiel dans la simulation de réseaux de véhicules et pour déterminer si deux nœuds sont proches et peuvent communiquer et une des spécificités des réseaux de véhicules est que le déplacement des véhicules est caractérisé par les infrastructures (routes, feux, tricolores, carrefour...). La prise en compte des dépassements, des bouchons sont très importants pour la représentation de la réalité. [8]

II.3 Modèle de Nakagami :

Le modèle de Nakagami est un modèle probabiliste où les puissances de réceptions suivent une distribution Gamma. L'équation de Nakagami se présente comme suit :

$$P_{\chi}(x) = 2m\Omega x^{2m-1} \Gamma(m) \Omega^m e^{-m\Omega x^2}$$

Où (m) représente la fonction de Gamma déterminée par :

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt$$

$$E(X) = \frac{\Gamma(m + \frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \sqrt{\frac{\Omega}{m}}$$

$$Var(X) = \Omega \left[1 - \frac{1}{m} \left[\frac{\Gamma(m + \frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \right]^2 \right]$$

Ce modèle tient compte des atténuations provoquées par d'éventuelles réflexions, diffractions et réfractions, qui peuvent mener au problème de multi-chemins. Le paramètre m permet de définir le taux d'atténuation de signal. Plus ce paramètre est élevé, plus l'atténuation du signal sera importante. [17]

II.4 Routage dans ad hoc :

Le routage est le processus par lequel des chemins ou bien des routes sont déterminés pour la transmission des informations (messages) vers la bonne destination à travers un réseau de

connexion donné. Le problème consiste à établir des routes correctes et efficaces avec un minimum de contrôle et de consommation de la bande passante. [18]

II.5 Routage dans les VANETS :

Le routage est une tâche très importante dans les VANET puisque tous les services supportés, unicast ou multicast, se basent sur des communications multi-saut pour l'acheminement des données. Les communications unicast sont généralement utilisées dans les applications de confort telles que le transfert 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, afin de déterminer les nœuds relais qui participent à l'acheminement des données. Les informations sont obtenues par des échanges de paquets de contrôle entre nœuds. La fréquence des échanges et les informations spécifiées dans les paquets dépendent d'un protocole à l'autre tout comme les mécanismes utilisés pour déterminer les nœuds relais. [19]

II.6 Les protocoles de routage dans les réseaux VANETS :

Les protocoles de routage définissent la façon dont les différentes entités du réseau échangent en permanence des informations relatives à la topologie et à l'état des liens afin de maintenir les tables de routage à jour et de déterminer les meilleures routes en fonction de l'encombrement du réseau permettant d'assurer la connectivité du réseau.

Pour s'avérer efficace dans les VANETS, un protocole de routage se doit d'assurer un temps de connexion minimal tout en utilisant de façon optimale les ressources du réseau.

Afin de présenter les principaux protocoles de routages dans les VANETS, nous avons choisi de commencer par faire une classification des différents protocoles existants. [20] On distingue principalement quatre catégories de protocoles de routage dans les VANETS :

- Les protocoles qui se basent la topologie.
- Les protocoles qui se basent sur la position géographique.
- Les protocoles basés sur les clusters.
- Les protocoles basés sur le mode de diffusion.

Un grand nombre de protocoles de routage existent dans les VANET, La figure II.1 présente les principaux protocoles.

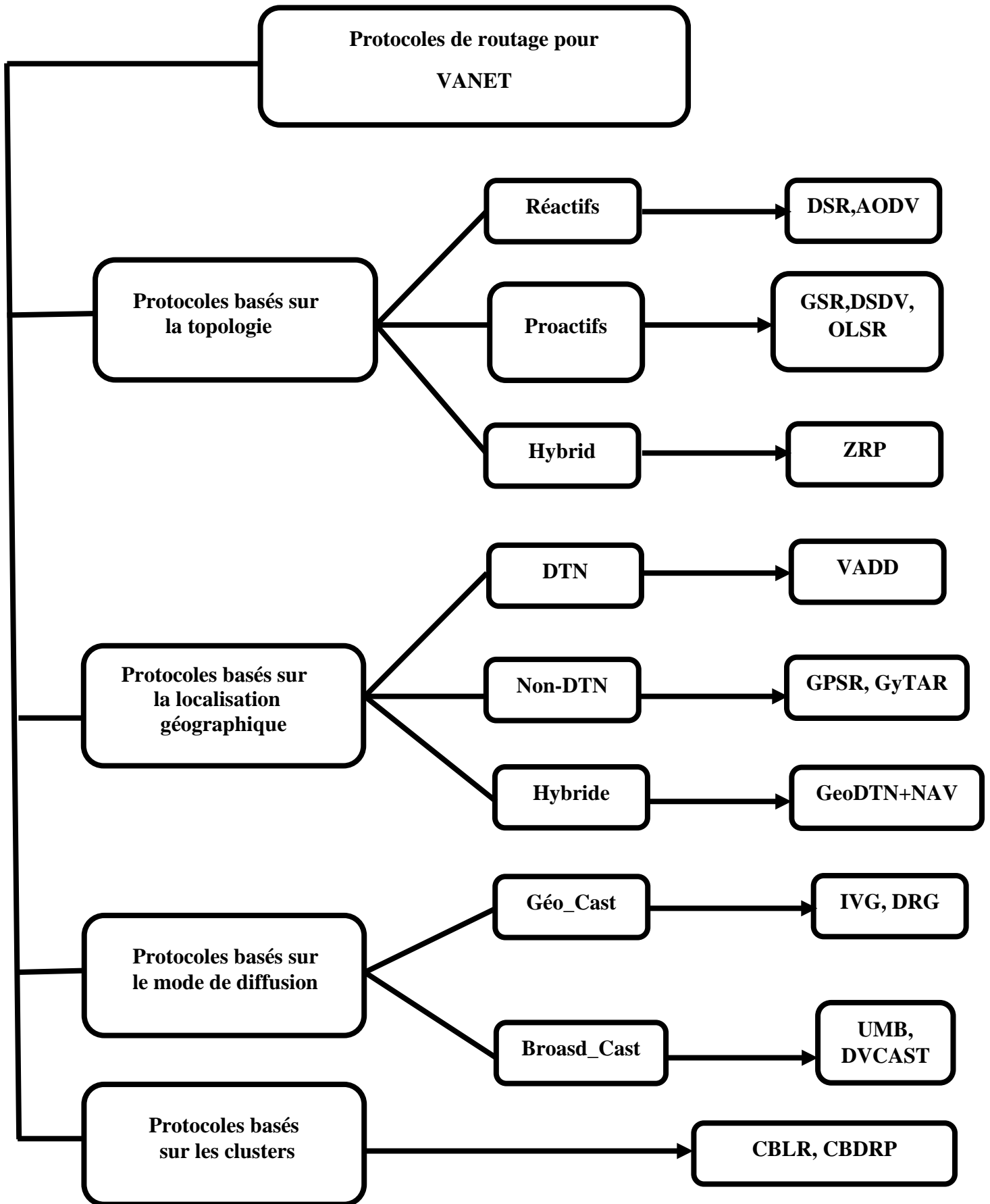


Figure II.1 : Classification des protocoles de routage dans les VANETs.

II.6.1 Les protocoles basés sur la topologie :

Les protocoles de routage basés sur la topologie utilisent les informations sur les liens qui existent entre les nœuds pour l'acheminement des paquets. Cette famille de protocoles peut être divisée en trois catégories : proactifs, réactifs et hybrides.

Chaque nœud utilise comme données l'état de ses connexions avec ses nœuds voisins ; cette Les protocoles basés sur la topologie génèrent un nombre conséquent de messages de contrôle pour l'établissement et le maintien des routes. [20]

II.6.1.1 Les protocoles réactifs :
Les protocoles de routage réactifs dits aussi protocoles de routage à la demande (on-demand routing protocols). Le principe de ces protocoles est de lancer le processus de recherche de routes uniquement en cas de besoin. Cela permet d'économiser de la bande passante et de l'énergie. [22] Lorsqu'un paquet doit être envoyé d'un nœud source vers un nœud cible, le protocole de routage va rechercher un chemin jusqu'à la destination, une fois ce chemin trouvé, il est inscrit dans la table de routage et peut être utilisé tant que la destination est joignable ou jusqu'au moment où la route devient inutile. [22]

L'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]

II.6.1.1.1 Le protocole DSR :

DSR pour Dynamic Source Routing est un protocole de routage réactif unicast, simple et efficace, destiné aux réseaux Ad Hoc mobile multi sauts. [24] Les routes sont construites à la demande en utilisant le routage source, où la source inclut dans l'entête du paquet la route complète par laquelle un paquet doit passer pour atteindre sa destination. Cette manière de faire à l'avantage de faciliter la détection de boucles et de comptage à l'infini. [25] Le fonctionnement de ce protocole se découpe en deux parties appelées Route Discovery et Route Maintenance et détaillées ci-dessous.

- **Découverte de route :**

Au début, aucune route de cache n'est disponible (route cache). Lorsqu'un nœud source désire envoyer des données une destination, il initialise une demande de route RREQ (Route REQUEST). La RREQ contient un identifiant unique (route REQUEST identifier), la destination à atteindre et une liste d'adresses de nœuds qui contient initialement uniquement l'adresse de la source (cette liste constituera le chemin entre la source et la destination à la fin

du processus de découverte).il commence par vérifier s'il ne s'agit pas d'une requête déjà traitée en cherchant dans l'historique l'existence du couple ([identifiant de la requête, adresse de la source]) identifiant cette RREQ. Si c'est le cas, le paquet est ignoré sinon, le nœud rajoute son adresse dans la liste du paquet et rediffuse ce paquet à son tour après l'avoir ajouté dans son historique. Lorsque la destination de la requête est atteinte, Lorsque le paquet RREQ arrive à la destination, la liste contient toutes les adresses de nœuds de chemin.

À la fin la destination copie cette liste et renvoie un paquet de réponse de route (Route Reply) qui contient cette liste avec son adresse insérée à la fin de cette liste. Une fois envoyée, cette réponse de route suivra le chemin contenu dans la liste jusqu'à atteindre la source. Ainsi, le chemin est établi entre la source et la destination et la transmission de données peut débuter. [25]

- **Maintenance de routes :**

Lors de la transmission d'un paquet, chaque nœud est responsable de l'acheminement des données sur le lien en direction du prochain saut. Il devra s'assurer que les données sont bien parvenues au prochain saut. Un accusé de réception peut garantir la confirmation du destinataire (ou le cas échéant un accusé spécifique à DSR). Si un nœud ne reçoit pas un accusé de réception suite à un envoi de paquet, il considère que le lien est rompu et supprime cette route du cache. Il crée alors un paquet erreur de route RERR (Route ERROR) qu'il envoie à tous les nœuds ayant envoyé un paquet sur ce lien depuis le dernier accusé de réception. Un avantage de DSR est que les nœuds intermédiaires n'ont pas besoin de garder des informations sur les différents chemins pour pouvoir envoyer les paquets de données puisque ces routes sont incluses dans l'entête ce qui garantit l'absence de boucles de routage. À l'inverse, l'utilisation de DSR peut être coûteuse dans un réseau à forte mobilité et densité du trafic car il surcharge le réseau avec un grand nombre de messages de contrôle. [25]

II.6.1.1.2 Le protocole AODV (Ad Hoc On demand Distance Vector) :

Est un protocole crée les routes au besoin et utilise le principe de numéro de séquence afin d'utiliser les routes les plus courts chemins (en nombre de sauts) entre la source et la destination. Dans ce protocole, les nœuds se réfèrent à leurs tables de routage comme une base pour acheminer les paquets. Ces tables de routage contiennent des informations qui sont mises à jours à partir des données contenues dans les paquets de contrôle.

Lorsqu'un nœud source **S** veut atteindre la destination **D** pour laquelle il ne possède pas de route, il lance la procédure de découverte de route en diffusant en broadcast un paquet RREQ (Route Request message) à ses voisins. Le paquet RREQ contient le numéro de séquence pour cette destination, si le numéro de séquence n'est pas connu, la valeur nulle sera prise par défaut, il

contient aussi la valeur du numéro de séquence du nœud source. Le RREQ sera propagé jusqu'à ce que le paquet atteigne un nœud qui a une route à la destination. Chaque nœud intermédiaire expédie la demande et crée une route inversée vers **S** (mémorise une route vers la source). Quand un nœud intermédiaire a une route vers **D**, il produit une réponse RREP qui contient le nombre de saut et le numéro de séquence pour **D** (le plus récent). Les nœuds qui portent la réponse vers **S** créent une route vers **D** mais seulement avec le prochain saut et non pas la route toute entière. Cependant, AODV maintient les chemins d'une façon distribuée en gardant une table de routage au niveau de chaque nœud de transit appartenant au chemin recherché.

Pour la mise à jour des routes, le protocole AODV exige des messages HELLO toutes les quelques secondes. Un lien est considéré invalide si trois messages HELLO consécutifs ne sont pas reçus (à travers ce même lien).

L'AODV utilise le principe de numéro de séquence afin d'éviter le problème des boucles infinies et des transmissions inutiles de messages sur le réseau, en plus il permet de maintenir la consistance des informations de routage. [25]

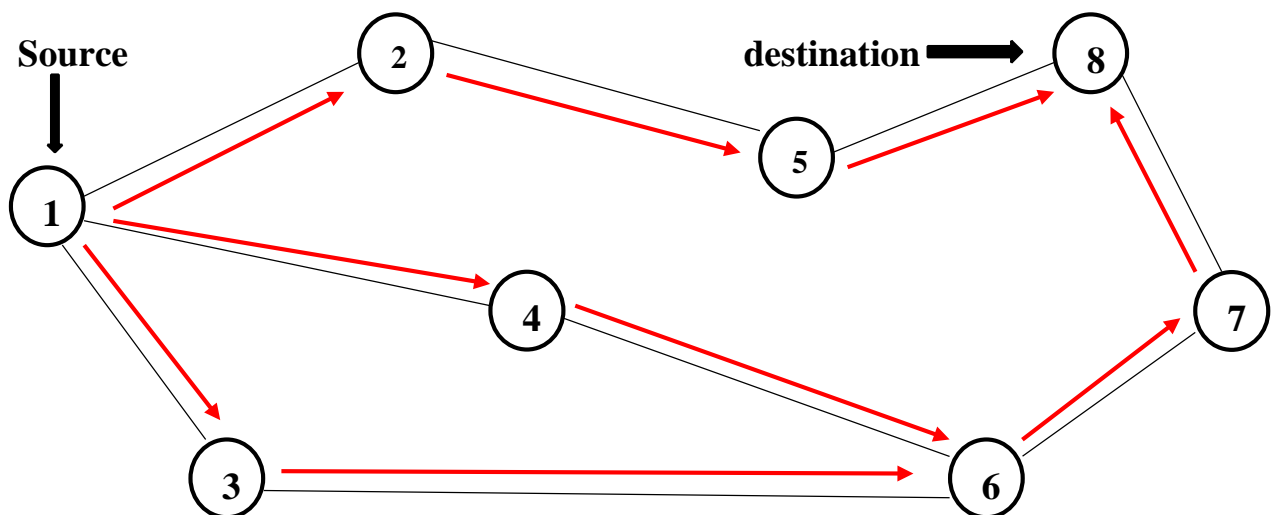


Figure II.2 : demande de route par un paquet (RREQ).

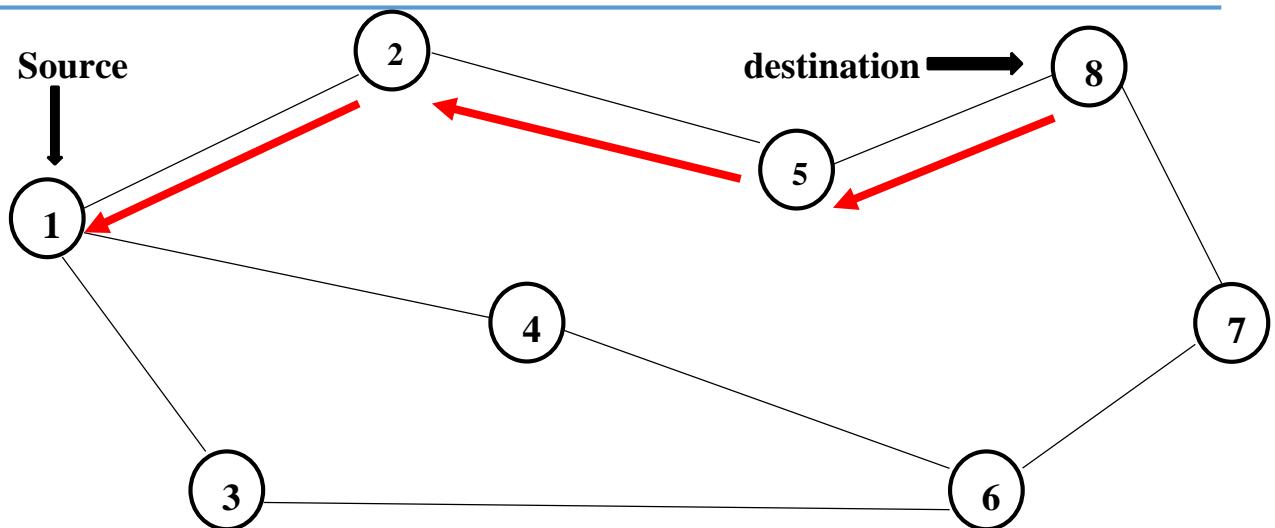


Figure II.3 : réponse par un paquet (RREP).

II.6.1.2 Les protocoles réactifs :

Le principe de base des protocoles proactifs est de calculer les routes à l'avance, il maintient à jour ces tables de routage, de tel sorte que lorsqu'un nœud désire envoyer un paquet à un autre nœud, une route soit immédiatement connue.

L'idée majeure est de conserver dans chaque nœud des informations de routage vers tous les autres nœuds du réseau pour accélérer le routage des paquets par la suite. Les changements topologiques du réseau sont gérés par propagation à chaque voisin des mises à jours des routes afin que chacun puisse maintenir une vue consistante du réseau.

Malheureusement ces protocoles atteignent rapidement leurs limites avec l'accroissement du nombre de nœuds et de leur mobilité. Les changements topologiques sont fréquents. Le réseau sera ainsi constamment inondé par les paquets de contrôle qui réduit considérablement la bande passante. [26]

II.6.1.2.1 Le protocole DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector) :

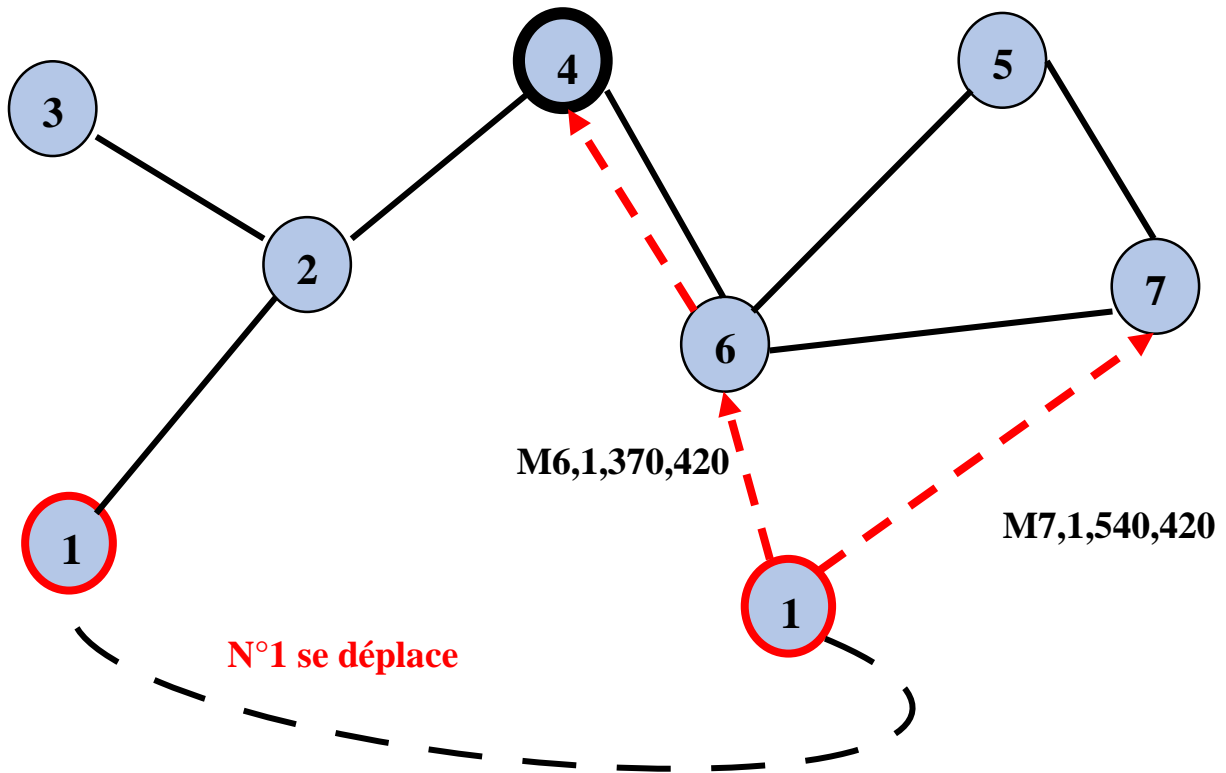
Le protocole DSDV a été conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Chaque nœud maintient une table de routage qui contient des informations sur les destinations accessibles dans le réseau. Ces informations comprennent : le nœud suivant utilisé pour atteindre la destination, le nombre de sauts qui sépare le nœud de la destination et le numéro de séquence (SN) qui correspond à un nœud destination. Ce numéro de séquence permet de distinguer les nouvelles routes des anciennes et d'éviter la formation de boucles de routage. Les mises à jour des tables sont transmises périodiquement à travers le réseau. Mais il existe deux types de mise à jour :

- des mises à jour complètes,
- des mises à jour incrémentales.

Dans la mise à jour complète, la station transmet la totalité de la table de routage aux voisins

Dans les mises à jour incrémentales, seules les nouvelles entrées ou celles qui ont subi un changement, par rapport à la dernière mise à jour, sont envoyées. [26]

(Dest, métrique, NS de la source, NS de dest)



-Table de routage de N°4 :

*Avant déplacement de N°1 :				* après déplacement de N°1 :			
Dest	Prochain saut	métrique	NS de dest	Dest	Prochain Saut	métrique	NS de dest
M1	M2	2	410	M1	M6	3	420
M2	M2	1	780	M2	M2	1	780
M3	M2	2	250	M3	M2	2	260

Figure II.4 : Exemple d'échange DSDV.

II.6.1.2.2 Le protocole OLSR (Optimized Link State Protocol):

Le protocole OLSR est un protocole à état de liens qui forme des routes de plus court chemin. Contrairement aux algorithmes traditionnels de routage à état de liens dans lesquels chaque nœud diffuse sur tout le réseau les liens directs qu'ils ont avec leurs voisins dans le protocole OLSR, les nœuds effectue une diffusion vers les destinations sélectionnées à travers les nœuds appelés relais multipoints (MultiPoint Relays : MPRs). Chaque nœud choisit la liste des MPRs de l'ensemble de ses voisins. Les messages diffusés comportent l'information sur l'état du lien et le nombre de fois où l'état de lien a été mis à jour. La réception de ce message permet aux nœuds de mettre à jour leurs tables de routage et déterminer leurs routes. L'idée est qu'à chaque fois qu'un nœud diffuse un message, les nœuds MPRs sont les seuls responsables de le rediffuser, ce qui réduit le degré d'inondation du réseau.

Deux types de message utilisent dans le protocole OLSR :

- Les messages **Hello** sont utilisés dans le but de déterminer le voisinage, l'état des liens et le MPR.
- Les messages de contrôle de topologie **TC (Topology Control)** sont générés et relayés uniquement par les MPRs. [27]

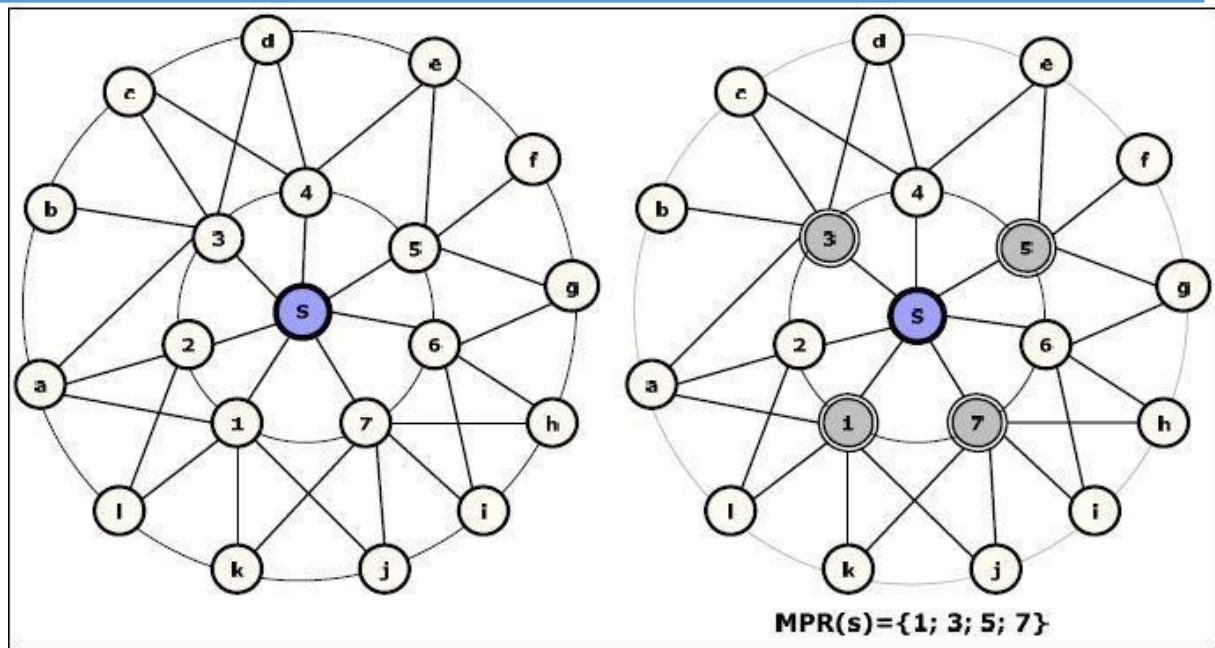


Figure II.5 : Exemple de sélection des relais multipoints. [28]

II.6.1.3 Les protocoles hybrides :

Les protocoles hybrides combinent les deux approches proactives et réactives. Ils utilisent un protocole proactif pour apprendre le proche voisin ainsi ils disposent des routes immédiatement dans le voisinage au-delà de cette zone prédéfinie le protocole hybride fait appel aux techniques du protocole réactif pour chercher des routes. L'avantage des protocoles hybrides est le fait qu'ils s'adaptent mieux aux réseaux de grandes tailles, Cependant, ce type de protocole cumule les inconvénients des protocoles proactifs et ceux des protocoles réactifs, tels que l'échange de paquets de contrôle réguliers et inondation de l'ensemble de réseau pour chercher une route vers un nœud éloigné. [26] Parmi les protocoles hybrides les plus connus :

- Le protocole Le protocole ZRP (Zone Routing Protocol)

II.6.2 Les protocoles basés sur la localisation géographique :

Les protocoles de routage géographiques sont les plus adaptés pour les réseaux ad hoc de véhicules, puisque le mécanisme de routage se base sur les données géographiques des nœuds. Chaque nœud source inclut l'identifiant et la position de la destination dans l'entête de tout paquet à envoyer, les nœuds recevant ce paquet utilisent les informations géographiques incluses dans ce dernier et celles disponibles dans leurs tables de routage pour retransmettre le paquet et répètent le même mécanisme jusqu'à ce que celui-ci atteigne la destination. Le fait que ni les tables de routage, ni les activités de découverte de route ne sont nécessaires rend le

routage géographique très attractif pour les réseaux dynamiques, tels que les réseaux véhiculaires.

L'avantage majeur de ces protocoles par rapport aux protocoles basés topologie, est qu'ils réduisent considérablement les paquets de contrôles, particulièrement dans les réseaux larges et dynamiques.

Le routage géographique se divise en trois catégories : les réseaux non-tolérants au délai (non Delay Tolerant Network) (non-DTN), les réseaux tolérants au délai (Delay Tolerant Network) (DTN) et les réseaux hybrides. [29]

II.6.2.1. Les protocoles géographiques tolérant aux délais (DTN) :

Ce type de protocoles DTN appelé en anglais *Delay Tolerant Network* prennent en considération la dé connectivité. On considère dans ce cadre que si aucune route complète n'existe à un instant donné entre deux nœuds, les paquets sont mis en mémoire jusqu'à la prochaine disponibilité ; ou on peut également faire transiter un message dans le réseau de proche en proche entre les nœuds accessibles dans l'espoir que l'un d'entre eux sera à un moment donné à portée du destinataire. [30]

Parmi les protocoles proactifs les plus largement étudiés :

- Le protocole VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery)

II.6.2.2. Les protocoles géographiques non tolérant aux délais (Non-DTN) :

Les protocoles de routage géographiques de type non-DTN ne prennent pas en considération la connectivité intermittente et ne sont pratiques que pour les VANET très denses. [29] Parmi les protocoles Non-DTN les plus populaires sont :

- Le protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)
- Le protocole GyTAR (Greedy Traffic Aware Routing protocol)

II.6.2.3. Les protocoles géographiques Hybride :

Les protocoles de routage géographiques de type hybride combinent les protocoles de routage non-DTN et DTN pour exploiter la connectivité partielle du réseau comme le protocole GéoDTN+NAV (Geographic DTN Routing with Navigator Prediction for Urban Vehicular Environments) qui inclut trois modes d'acheminement de données, le mode Greedy, le mode Perimeter et le mode DTN. [31]

II.6.3. Les Protocoles basés sur le mode de diffusion :

Il est divisé en deux familles sont :

II.6.3.1. Les protocoles Géo-caste :

Le routage Géo-cast est en fait un routage multicast appuyé sur la localisation. Son objectif est de livrer le paquet du nœud source à tous les autres nœuds dans une région géographique spécifiée (Zone de pertinence ZOR). En Géo-cast, les véhicules en dehors du ZOR ne sont pas alertés pour éviter une réaction hâtive inutile. Géo-cast est considéré comme un service de multidiffusion dans une région géographique spécifique. Il définit normalement une zone de transfert où il dirige l'inondation des paquets afin de réduire la surcharge des messages et la congestion du réseau causée par une simple inondation des paquets partout. Dans la zone de destination, le routage unicast peut être utilisé pour transférer le paquet. Un écueil de Géocast est le partitionnement du réseau et également les voisins défavorables qui peuvent entraver la bonne transmission des messages. Ces protocoles sont utilisés pour envoyer un message à tous les véhicules dans une région géographique prédéfinie. [32]

II.6.3.2. Les protocoles Broad-caste :

Le routage de diffusion est fréquemment utilisé dans VANET pour le partage, le trafic, les conditions météorologiques et d'urgence, les conditions routières entre les véhicules et la diffusion de publicités et d'annonces. La diffusion est utilisée lorsque le message doit être diffusé au véhicule au-delà de la plage de transmission, c'est-à-dire que des sauts multiples sont utilisés. La diffusion envoie un paquet à tous les nœuds du réseau, généralement à l'aide d'une inondation. Cela garantit la livraison du paquet mais la bande passante est gaspillée et les nœuds reçoivent des doublons. Dans VANET, il fonctionne mieux pour un petit nombre de nœuds. Les différents protocoles de routage de diffusion sont BROADCAST, UMB, V-TRADE, DV-CA. [32]

II.6.4. Les protocoles de routage basés sur les clusters (groupes) :

Dans ce type de protocole de routage, les véhicules ou les nœuds mobiles qui sont à proximité des autres forment un groupe ou (**cluster, grappes**), et dans chaque groupe un CH (**Cluster Head**) est désigné comme un chef de groupe. La formation de groupes et la sélection du chef de groupe sont des processus déterminants. Chaque chef de groupe est responsable de la gestion des nœuds au sein d'un même groupe, mais également de la gestion entre les autres. La communication diffère toute fois dans ces deux cas. La communication entre les nœuds d'un même groupe s'effectue par des liens directs entre eux, tandis que la communication entre les groupes s'effectue par le biais des chefs de groupes. [32]

II.6.4.1. Le protocole CBLR (Cluster Based Location Routing) :

Est un protocole de routage réactif basé sur les groupes. Chaque chef de groupe conserve une table de routage contenant les adresses et les localisations géographiques des nœuds de son

propre groupe et des nœuds passerelles. En plus de maintenir une table de routage des groupes voisins. Lorsqu'une source veut envoyer des données à une destination, le chef de groupe vérifie d'abord si la destination est dans le même groupe ou non. Si celle-ci est dans le même groupe, il envoie le paquet à la plus proche voisine de la destination ; Sinon, la source stocke le paquet de données dans son tampon. Le CBLR est adapté aux réseaux à haute mobilité, puisqu'il met à jour la localisation de la source et de la destination à chaque fois avant de commencer la transmission de données. [33]

Contrainte de performance	AODV	DSR	OLSR	DSDV	GSR	ZRP	GPSR
Catégorie	Reactif	Reactif	Proactif	Proactif	Proactif	Hybride	Géographique (reactif)
Type de protocole	Vecteur de distance	Schema à état de lien	Schema à état de lien	Vecteur de distance	Schema à état de lien	Indéfini	Vecteur de distance
Routes maintenues dans	Table de routage	Table de routage	Table de routage	Table de routage	Table de topologie	Table de routage	Table de position
Liberté de boucle	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Routes multiples	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
Multicast	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Surcharge réseau	Moderée	Moderée	Minimale	Minimale	Moderée	Moderée	Moderée
Diffusion périodique	Possible	Possible	Possible	Possible	Pas possible	Possible	Possible
Requiert des séquences de données	Oui	Non	Non	Non	Oui	-	Non
Méthode de reconfiguration des routes	Suppression des routes & notification à la source	Message d'erreur et suppression du chemin sauvegardé	Messages de contrôles envoyés en avance afin d'augmenter la reactivité	Des paquets de mises à jour. Numéro de séquence estampillé	Paquets de mise à jour (table de topologie)	Ce dépendent du protocole réactif utilisé	Supprimer le nœud n'appartient pas dans sa zone
Résumé	Découverte des routes, expansion en anneau, recherche, poursuite du chemin.	routes à la demande, routage à la source, la découverte de route et la maintenance de route	Messages de contrôle pour détection de liaison, détection des voisins (MPPR), détection de multiples interfaces, calcul des routes.	Des informations sur les destinations numéro de séquence. Envoie périodiquement aux les voisins la totalité de table de routage	Chaque nœud connaît la topologie globale. L'envoyer aux voisins uniquement.	Chaque nœud connaît les voisins, IARP pour découvrir les routes, IERP est utilisé à la demande pour chercher les routes, BRP utilise les données de la topologie fournies	Même plan. l'acheminement des paquets de données ou de contrôle géographiquement. utilisé deux modes: «Greedy Forwarding» le «Perimeter Forwarding». détermine la route à suivre en minimisant les distances entre les nœuds et la destination.

Tableau II.1 : Grille d'analyse [34]

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques protocoles de routage qui ont été proposés pour assurer le service de routage dans les réseaux mobiles VANETs et nous avons décrit leurs principales caractéristiques et fonctionnalités afin de comprendre les stratégies utilisées dans l'acheminement des données entre les différents nœuds. Les protocoles AODV, DSDV et DSR fera le sujet principal dans le prochain chapitre Dans ce cadre, nous allons étudier ces protocoles et les outils de simulation pour VANET.

Chapitre III

Evaluation des

performances des

réseaux VANET.

III.1 Introduction :

L'étude des performances d'un protocole de réseau véhiculaire sans fil, fait appel à deux types de simulateurs : le simulateur de trafic routier et le simulateur réseau. Le simulateur de trafic routier permet de générer la mobilité des véhicules sur une carte. Le simulateur réseau modélise le comportement des différentes entités du réseau ; c'est-à-dire qu'il permet de gérer les interactions entre les différents nœuds du réseau. Dans ce chapitre, nous allons présenter le simulateur de trafic routier SUMO et le simulateur réseau NS2 qui est souvent utilisés pour simuler des réseaux VANETs.

III.2 Logiciels utilisés :

III.2.1 Le simulateur de trafic routier SUMO :

SUMO (Simulation of Urban Mobility) est un progiciel de simulations de trafic routier open source sous licence ONU public (OPL), dont le développement a commencé en 2002.

L'objectif des développeurs est de mettre à la disposition du monde académique un outil leur permettant de modéliser le réseau routier aussi bien en milieu urbain qu'environnement autoroutier. Le progiciel SUMO contient une suite d'applications qui aident à préparer et à exécuter la simulation d'un scénario de trafic routier. Les différentes applications incluses dans la suite SUMO seront présentées dans cette sous-section en fonction de leur objet d'étude [35].

III.2.2 Simulateur réseau NS2 :

Network Simulator 2 c'est le simulateur le plus populaire et le plus utilisé dans la simulation des réseaux. Il est disponible gratuitement et open source. L'ouverture du code source à la communauté a contribué à l'enrichir de nouveaux protocoles et de nouvelles fonctions au fil du temps. Il permet à l'utilisateur de définir un réseau et de simuler des communications entre les nœuds de ce réseau.

NS-2 nécessite deux langages : OTcl (Object Tools Command Language) et C++. A travers le langage OTcl, l'utilisateur décrit les conditions de la simulation : topologie du réseau, caractéristiques des liens physiques, protocoles utilisés ...etc. Ainsi, Le langage C++ sert à décrire le fonctionnement interne des composants de la simulation.

Bien que les scripts de simulation soient écrits en OTcl, la base du simulateur est en C++ ce qui permet à chacun de modifier à sa guise les différents protocoles. De plus, il fait figure d'exception

en matière de compatibilité avec les simulateurs de mobilité car il permet de prendre en compte facilement des formats de mobilité largement répandus. [36] **III.2.2.1 Flot de simulation :**

NS2 interprète le script OTCL et exécute la simulation. Les résultats obtenues (Fichier trace et fichier NAM) peuvent être visualisés avec l'outil NAM (Network Animator) et analysés à partir des fichiers trac. [37]

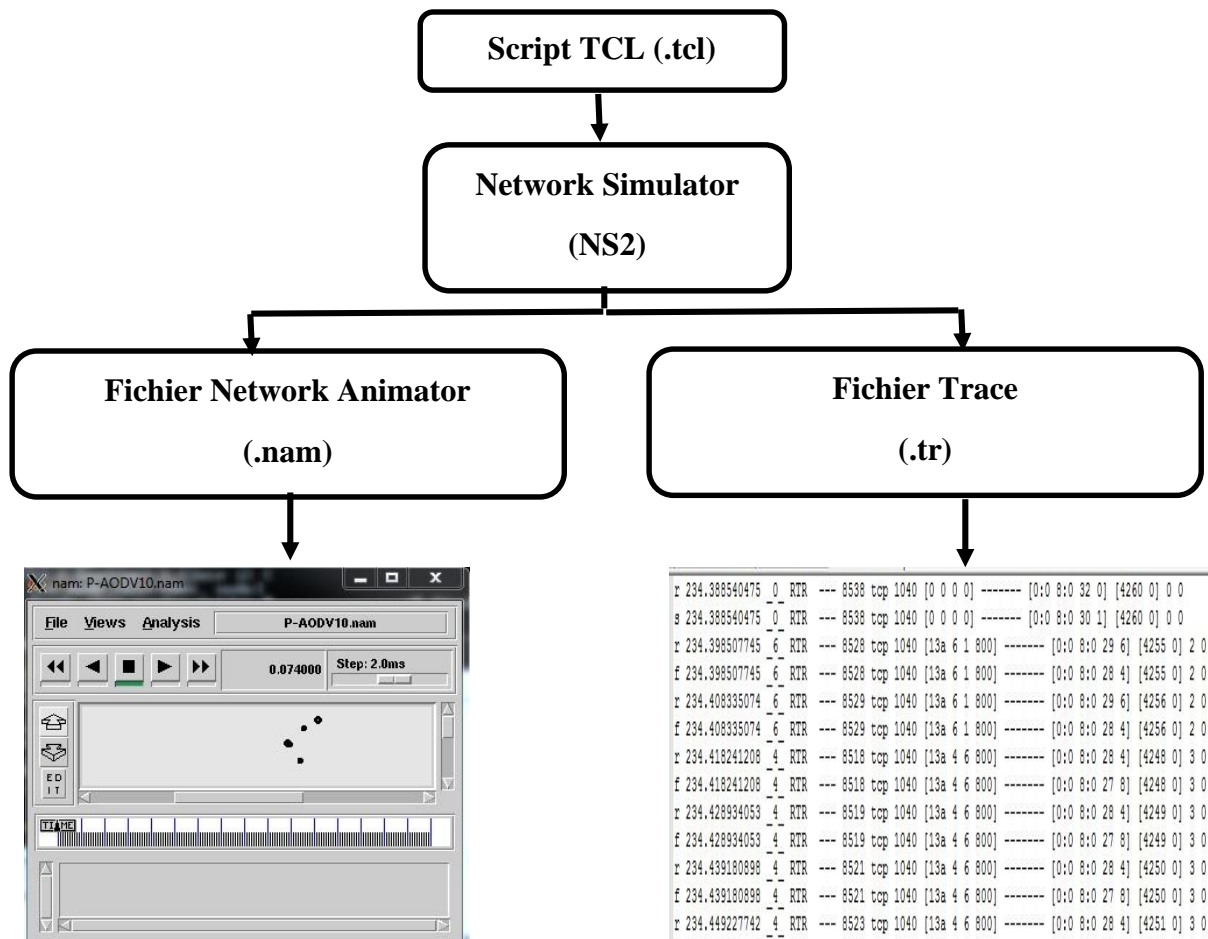


Figure III.1 : Flot de simulation avec NS2

A-NAM : le NAM est un outil d'animation basé sur Tcl/Tk, utilisé dans NS pour interpréter et visualiser le tracé de simulation des réseaux, le tracé de données.

B-Fichier trace (résultat de la simulation) : Le fichier trace est un fichier qui retrace tous les évènements qui se sont produits pendant la simulation à savoir émission, réception, perte de paquets. Il existe deux formats du fichier trace ; l'ancien format et le nouveau format. Nous avons opté pour l'ancien format.

La figure suivante illustre un exemple d'une ligne de fichier de trace ancien format.


```
s 234.388540475 0 RTR --- 8538 tcp 1040 [0 0 0 0] ----- [0:0 8:0 30 1] [4260 0] 0 0
```

Figure III. 2 : Exemple d'une ligne de fichier trace ancien format.

C-AWK : AWK est un langage pour le traitement des fichiers de texte, inspirée du langage C. Chaque fichier est traité comme une séquence d'enregistrements, et par défaut, chaque ligne est un enregistrement. Il décrit comment filtrer le fichier de sortie « .tr » de NS2 pour extraire des données significatives de la simulation.

III.3 Contexte d'exécution de la simulation :

L'évaluation des performances des trois protocoles AODV, DSDV et DSR est faite en utilisant les trois métriques PDR (taux de paquets délivrés), Throughput (débit) et end the end Delay (le délai de bout en bout).

III.3.1 Les critères de performances :

□ **PDR (taux de paquets délivrés)** : C'est le rapport entre le nombre de paquet reçus par la destination (les destinations) et le nombre de paquet émis par la source (les sources). [38]

$$PDR = \frac{\sum \text{nbr de paquet srecus par la destination}}{\sum \text{nbr de paquets envoyes par tous les noeuds soure}} \times 100$$

□ **Throughput (débit)** : le déterminent de la qualité maximale d'information (bits) par unité de temps nommé la bande passante. [10]

$$\text{debit - moyen} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{taille du paquet reçu}}{(\text{temps de réception} - \text{temps émission})} \times \frac{8}{100}$$

□ **Le délai de bout en bout** : Représente l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instante d'envoi du paquet, par la source, et l'instante de réception de ce paquet par la destination. [38]

$$D = \text{Temps de réception} - \text{le temps de transmission}$$

III.4 Les étapes de la simulation :

III.4.1 téléchargement d'une carte réelle OSM :

□ **OpenStreetMap (OSM)** : est un projet Service collaboratif de cartographie en ligne qui vise à constituer une base de données géographiques libre du monde (permettant par exemple de créer des cartes sous licence libre), en utilisant le système GPS et d'autres données libres. Il a été mis en route en juillet 2004 par Steve Coast à l'UniversityCollege de Londres.[39]

-Ouvrez votre navigateur Web et rendez-vous sur le site Web <https://www.openstreetmap.org> et recherchez la ville de votre choix, par exemple Annaba, Algérie, comme il est montré dans la figure

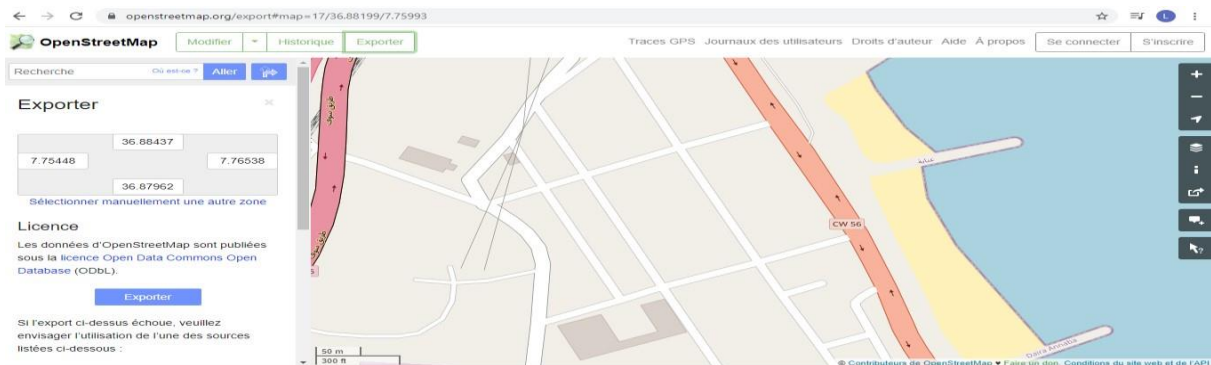


Figure III.3 : Zone d'étude de la ville de Annaba dans OpenStreetMap

Ensuite, on clique sur le bouton Exporter qui se trouve en haut, une fenêtre apparaît nous demande si nous souhaitons Sélectionner manuellement une autre zone si non ,on clique une autre fois sur le bouton Exporter pour enregistrer la carte avec l'extension (.osm).

III.4.2 Préparation de la carte pour utilisation dans SUMO :

Crée un nouveau dossier et Copiez le fichier map.osm que vous avez téléchargé dans ce dossier. Puis appuyer sur CMD dans la barre d'adresse de ce dossier et appuyez Entrée. Après tapé la commande suivante « **netconvert --osm-files map.osm -o v.net.xml** » Pour convertir la carte télécharger en extension (osm) vers l'extension (.net.xml) connu par le simulateur SUMO. comme illustré à la Figure suivante.

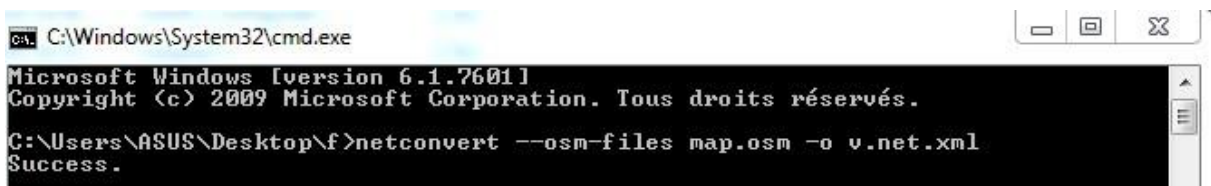


Figure III.4 : Génération de fichier v.net

III.4.3 Génération des routes dans SUMO :

On crée un fichier par Notepad++ dans lequel nous utilisons deux balise route et véhicule pour :

- Identifier les véhicules
- Sélection le moment du départ

- Indique le chemin à prendre

Figure III.5 : fichier de route v10.rou.xml

- **Fichier de configuration (v10.sumocfg) :**

Figure III.6 : fichier de configuration v10.sumocfg

III.4.4 simulation SUMO :

Maintenant, pour voir les mouvements réels des véhicules sur le simulateur sumo comme la figure I. Le montre, nous allons sélectionner « Run ».

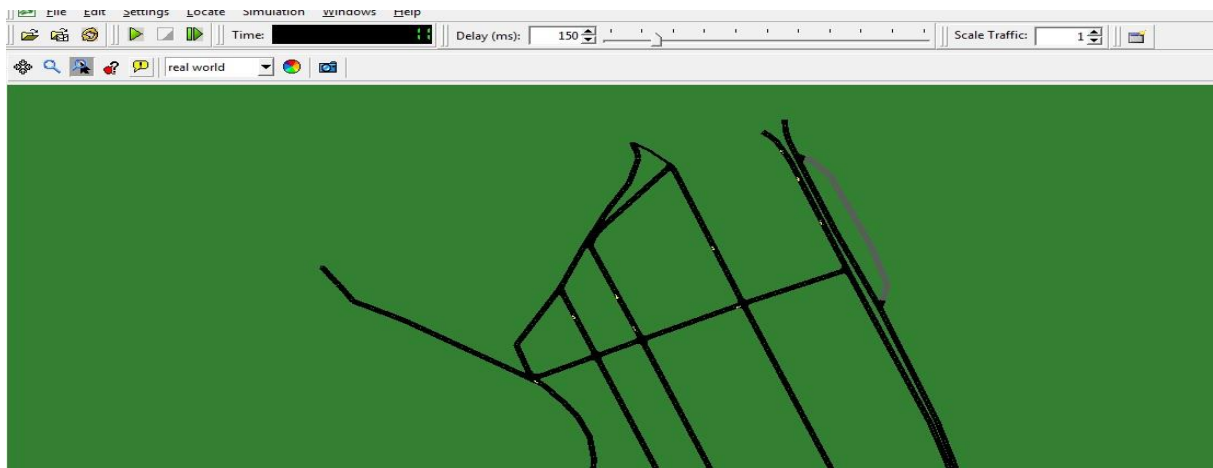


Figure III.7 : la visualisation de fichier v10.sumocfg

III.4.5 génération de fichier fcd (floating car data) et fichier TCL :

Fcd : nommé dans notre exemple (10.xml) est un fichier qui contient les données flottantes de la voiture (l'emplacement, la vitesse, la position etc.) ainsi que d'autres informations pour chaque véhicule du réseau et à tous moments. Et nous l'obtenons grâce à la commande suivante « `sumo -c v10.sumocfg --fcd-output 10.xml` ». Comme le montre la figure suivante :

```
C:\Users\ASUS\Desktop>sumo -c v10.sumocfg --fcd-output 10.xml
Loading configuration ... done.
Step #0.00 <ims ~ = 1000.00*RT, ~10000.00UPS, vehicles TOT 10 ACT 10 BUF 2>
Step #100.00 <0ms ?*RT. ?UPS, vehicles TOT 12 ACT 0 BUF 0>
```

Figure III.8 : La commande nécessaire pour générer le fichier FCD

□ Fichier des données flottantes des voitures (fcd) :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<fcd-export xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/fcd_file.xsd">
  <timestep time="0.00">
    <vehicle id="0" x="602.89" y="411.89" angle="358.09" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="533106530#0_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="11" x="83.77" y="4.89" angle="6.39" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="42063622#0_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="12" x="142.61" y="818.24" angle="157.13" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="-101266031#0_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="2" x="365.53" y="712.32" angle="337.09" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="-42063625#1_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="3" x="380.87" y="703.60" angle="67.12" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="-42063624#0_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="4" x="83.54" y="793.95" angle="121.87" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="-42063622#2_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="6" x="418.84" y="359.75" angle="247.20" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="-42063626#2_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="7" x="103.76" y="910.20" angle="157.09" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="-101266031#1_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="8" x="470.27" y="744.80" angle="246.71" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="42063624#0_0" slope="0.00"/>
    <vehicle id="9" x="289.42" y="884.19" angle="157.09" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="42063625#1_0" slope="0.00"/>
  </timestep>
```

Figure III.9 : visualisation le contenu de fichier fcd (10.xml)

Ensuite on génère le fichier (tcl) pour faire cela en sumo, un code python appelé `traceExporter.py` convertit et filtre les données de fichier flottante sumo vers une format tcl que nous utilisons dans ns2.comme il est montré dans la figure III.13.

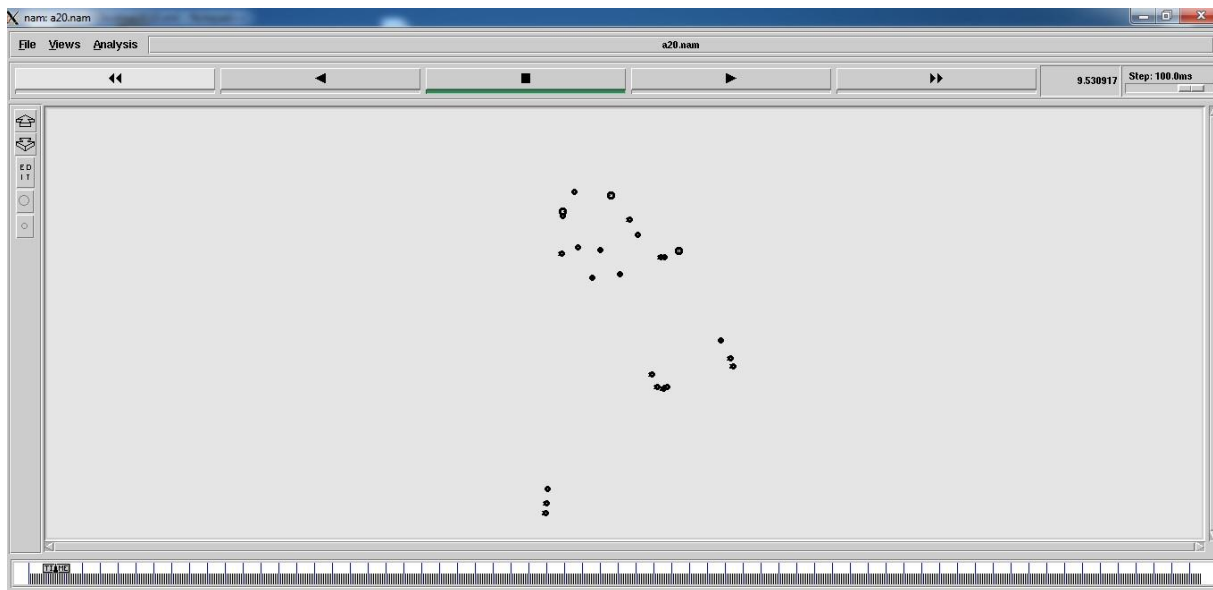


Figure III.12 : Résultat de l'exécution de fichier .nam

21931	s	90.459195050	_0	RTR	---	2534	tcp	1040	[0 0 0 0]	-----	[0:0 8:0 30 1]	[1257 0]	0 0
21932	r	90.469101366	_1	RTR	---	2532	tcp	1040	[13a 1 0 800]	-----	[0:0 8:0 30 1]	[1255 0]	1 0
21933	f	90.469101366	_1	RTR	---	2532	tcp	1040	[13a 1 0 800]	-----	[0:0 8:0 29 6]	[1255 0]	1 0
21934	r	90.479018133	_4	RTR	---	2524	tcp	1040	[13a 4 6 800]	-----	[0:0 8:0 28 4]	[1250 0]	3 0
21935	f	90.479018133	_4	RTR	---	2524	tcp	1040	[13a 4 6 800]	-----	[0:0 8:0 27 8]	[1250 0]	3 0
21936	r	90.489003802	_8	AGT	---	2507	tcp	1040	[13a 8 4 800]	-----	[0:0 8:0 27 8]	[1245 0]	4 0
21937	s	90.489003802	_8	AGT	---	2535	ack	40	[0 0 0 0]	-----	[8:0 0:0 32 0]	[1245 0]	0 0

Figure III.13 : Résultat de fichier trace simulation NS2.

Finalement, l'outil AWK est nécessaire pour filtrer les évènements de trace en calculant les données importantes en tapant la commande suivante indiqué dans la **Figure III.13**

```
ASUSPCASUS-PC /home/d
$ awk -f throuput.awk 120.tr
Average Throughput[kbps] = 681.96          StartTime=10.03          StopTime
=86.29

ASUSPCASUS-PC /home/d
$ awk -f tous.awk 120.tr

GeneratedPackets = 12541
ReceivedPackets = 12497
Packet Delivery Ratio = 99.6492
Total Dropped Packets = 38
Average End-to-End Delay = 66.5259 ms
```

Figure III.14 : Résultat des script AWK

III.5 Résultats de simulations et Discussions :

Nous avons évalué les performances des protocoles de routage DSDV, AODV et DSR en fonction de différentes mesures. Cette section résume les résultats de performance les plus pertinents.

III.5.1 Le délai de bout en bout :

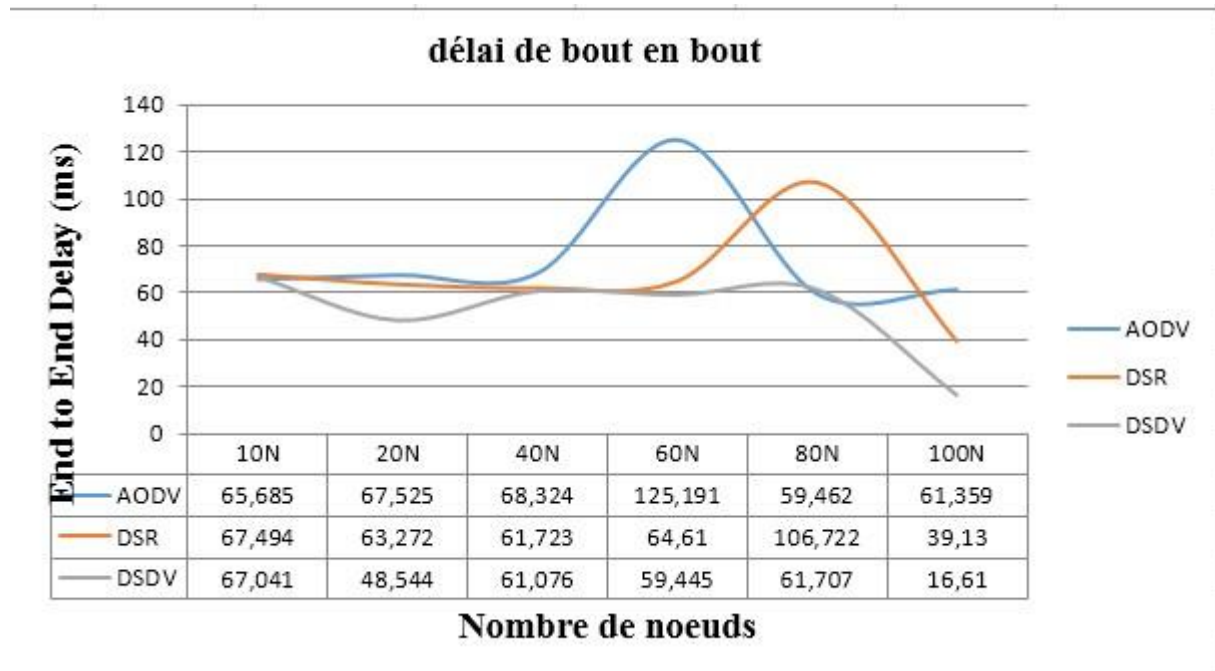


Figure III.15 : Le délai de bout en bout

La figure III.14 montre le retard de bout en bout (e2e) en fonction de la densité des nœuds. Ce paramètre fait référence au délai de transmission d'un paquet de données, du nœud source au nœud de destination.

De manière générique, le délai e2e augmente avec le nombre de nœuds. Pour le scénario avec 60 nœuds, le protocole avec le plus grand retard est AODV, en raison de l'inondation causée par le grand volume des messages de contrôle du réseau. Le protocole DSR atteint son pic maximum dans le scénario avec 80 nœuds.

III.5.2 Taux de livraison de paquets :

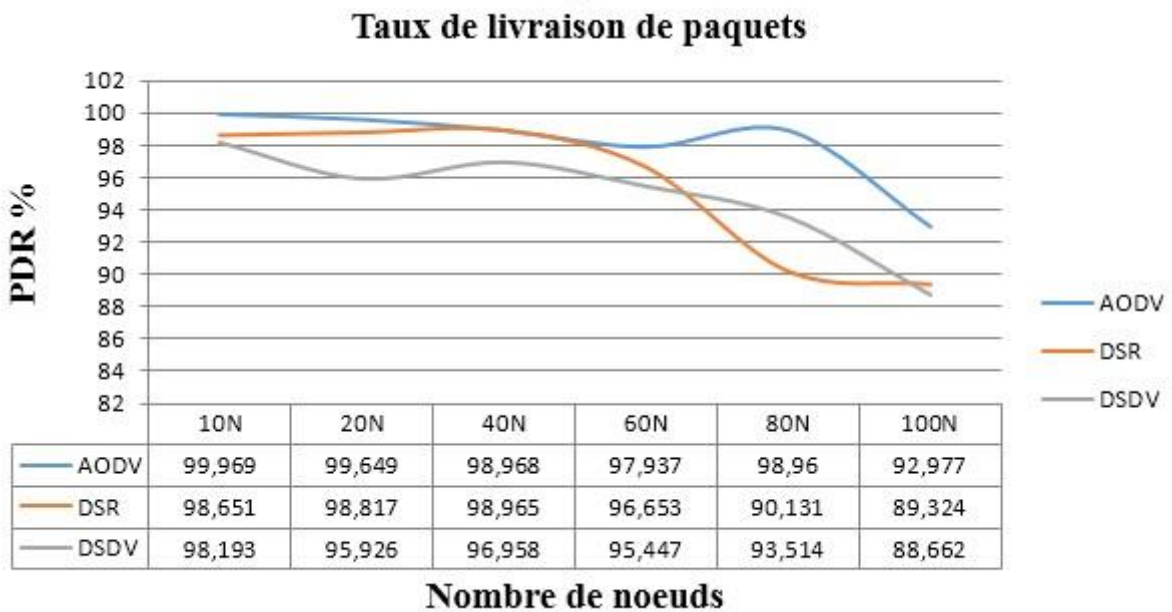


Figure III.16 : Taux de livraison de paquets

Les résultats de la figure III.15 montrent que le DSDV fonctionne mieux dans des scénarios avec un petit nombre de nœuds. Dans les réseaux à forte densité, ses performances sont faibles, car de nombreux liens se rompent en raison de la mobilité, ce qui compromet la maintenance des tables de routage. L'AODV présente un PDR élevé dans les deux scénarios, tandis que le DSR montre une perte de performance dans les scénarios à haute densité, mais maintient néanmoins un bon PDR.

III.5.3 : Le débit moyen

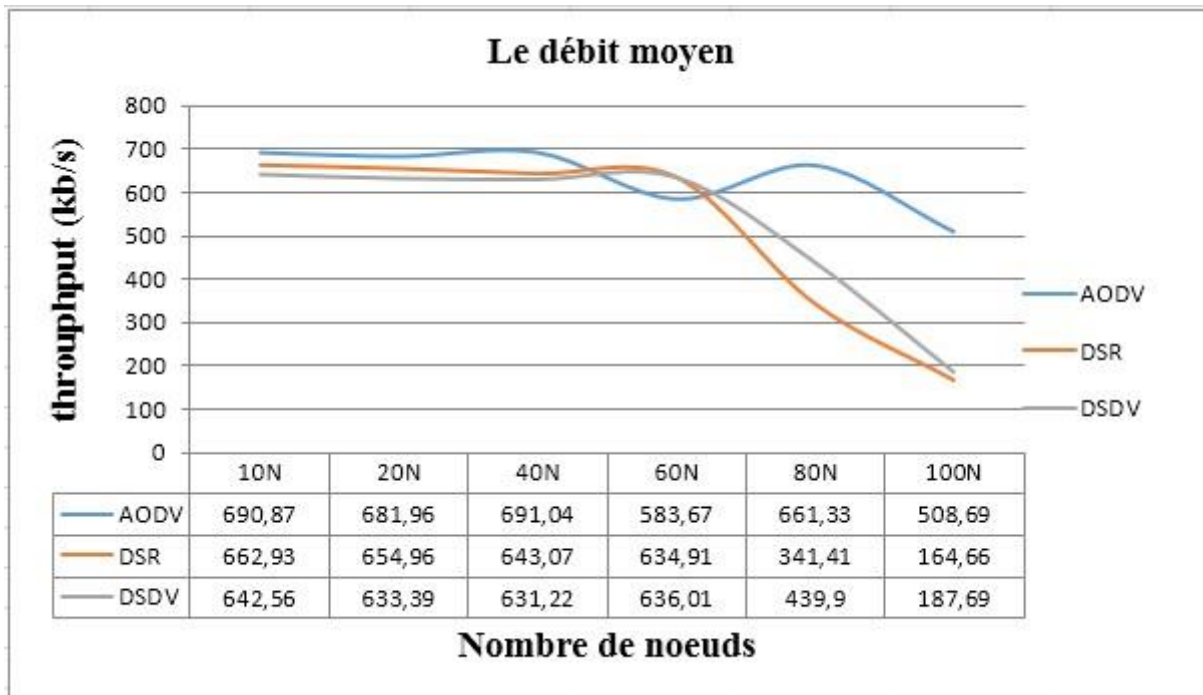


Figure III.17 : Le débit moyen

Si le nombre de nœuds augmente, la surcharge de contrôle de tous les protocoles augmente, tandis que la surcharge de contrôle du DSR évolue très lentement par rapport aux autres protocoles examinés dans ce travail. La figure III.15 montre que le DSR est plus performant que le DSDV alors qu'il est très proche de l'AODV en termes de PDR en augmentant le nombre de nœuds. De même, le DSR donne un résultat moyen en termes de retard et la variation est très faible par rapport au DSDV et à l'AODV pour les différents nœuds qui sont présentés à la figure III.14. Le débit du DSR est inférieur à celui du DSDV, comme le montre la figure III.16. Le débit de l'AODV est le plus faible par rapport aux trois autres protocoles considérés.

III.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons évalué les trois protocoles AODV, DSR et DSDV en termes de taux de délivrance des paquets, le débit moyen et le délai de bout en bout ce qui nous a permis de conclure que AODV est plus adaptable pour les VANET que les deux protocoles DSR et DSDV en raison de résultats dans (PDR ET DEBIT MOYEN), malgré qu'il comporte un délai de bout en bout beaucoup plus grand que au DSR et DSDV.

Conclusion générale :

Les réseaux VANETs sont une extension de réseaux MANETs. Il s'agit de l'échange des informations via une communication directe c'est-à-dire V2V, V2I ; ou par le jumelage de ces deux types de communication. Il existe des mécanismes et des protocoles qui servent à assurer la communication inter-véhicules dans les réseaux VANETs.

En effet, notre requête vise à analyser quelques protocoles de routage classique qui sont basées sur la topologie. Deuxièmement, il s'agit aussi d'envisager une évaluation afin d'instaurer le meilleur protocole qui s'adapte éventuellement au réseau VANET.

Il est à noter que, notre expérience est menée sur les performances de trois protocoles (AODV, DSR, DSDV) ceci, va nous aider à atteindre notre objectif et obtenir des résultats de simulation proche de la réalité.

Pour faire cela, nous avons implémenté une topologie avec un certain nombre de nœuds SUMO et aussi nous avons créé un réseau VANET avec le simulateur NS2.

Notre projet d'étude se focalise sur l'évaluation de trois métriques (PDR, E2E, le débit), pour les réseaux véhiculaires en milieu urbain. Le résultat de l'évaluation précitée stipule que le protocole AODV semble plus performant que les deux autres protocoles DSR et DSDV.

Il serait intéressant, comme perspectives, de créer un répertoire de tous les protocoles de diffusion qui existent dans le domaine des MANETs et VANETs. Implémenter des nouvelles techniques, pour en voir les avantages par rapport aux autres propositions disponibles dans la littérature.

Références bibliographiques :

- [1] BELLAHCENE Mohammed Amine, BOUAZZA Mohammed Reda, ‘‘ Une version améliorée du protocole GPSR pour un routage efficace dans les Vanets’’, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 2016.
- [2] Kamal OUDIDI, ‘‘ Routage et Qualité de Service dans les réseaux sans fil spontanés’’, Université Mohammed V – Souissi RABAT 2010.
- [3] Mlle BOUZEBIBA Hadjer, Mlle BOUIZEM Yasmina, ‘‘ Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux VANET’’, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 2015.
- [4] Melle HATEM Manel, Melle SALMI Siham, ‘‘ Routage basé sur le clustering dans les réseaux VANETS’’, Université A/Mira de Béjaia 2017.
- [5] Rabah MERAIHI, Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux ad hoc, thèse doctorat université paris.
- [6] Les réseaux véhiculaires (Les VANETs), <http://slideplayer.fr/slide/1326201/>, Juin 2016.
- [7] Djamel BEKTACHE Application et Modélisation d’un protocole de communication pour la sécurité routière, Thèse Doctorat 3ème Cycle LMD, 2014.
- [8] Zaater hayet , Etude des modèles de mobilité de véhicules et leur simulation, Mémoire de fin d’étude Master, Université de Guelma.
- [9] Jonathan Petit, Sur coût de l’authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires, DOCTORAT DE L’UNIVERSITÉ DE TOULOUSE 2011.
- [10] MEHRZA Wafa, Etude de la mobilité dans les réseaux Ad hoc véhiculaires VANET, Université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019.
- [11] KHELLAF HAROUN, Élaboration d’un système coopératif basé sur les réseaux Vanet : application aux accidents de la route, Université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2017.
- [12] Fethi Filali chapitre4,(eurocom),http://hdhili.weebly.com/upload/9/8/9/6/9896432/chap4_vanet.pdf.
- [13] H. Bouzebiba, ‘‘Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux VANET (V2V)’’Mémoire de fin d’étude de Master, université de Tlemcen, 2015.
- [14] Benchabana et R. Bensaci, ‘‘Analyse des protocoles de routage dans les réseaux VANET’’, mémoire de Master, Département d’Informatique, Université d’Ourgla 2014.

- [15] Rejab Hajlaoui , livre ‘ ‘ Résolution à base d'heuristiques du problème de routage dans les réseaux ad hoc de vehicules’ ’publié en 2018.
- [16] Hamou CHEHRI, Étude et caractérisation d’un canal de propagation pour les réseaux VANET, Université du Québec EN Abitibi Témiscamingue, Juin 2014.
- [17] GEORIS Antoine, Evaluation de protocoles de routage ad hoc sur système Android, Université de Mons Faculté des Sciences 2e MASTER Informatique 2012.
- [18] BELLAHCENE Mohammed Amine, BOUAZZA Mohammed Reda, Une version améliorée du protocole GPSR pour un routage efficace dans les Vanets, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 2016.
- [19] Ait Ali Kahina Modélisation Et Etude De Performances Dans Les Réseaux VANET. Thèse de doctorat de l’Université de Technologie de Belfort-Montbéliard. Mardi 16 Octobre 2012.
- [20] Olivier Rivaton, Le routage de l’information dans les réseaux véhiculaires mobiles, Mémoire de l’Université LAVAL Québec, Canada, 2016.
- [21] M. J. Islam B. Paul. Survey over VANET Routing Protocols for Vehicle to Vehicle Communication, IOSR Journal of Computer Engineering IOSRJCE, (Decembre 2012).
- [22] Sana Ajmal, Asim Rasheed and Aamir Hasan, « Classification of VANET MAC, Routing and Approaches A Detailed Survey », Journal of Universal Computer Science, vol. 20, no. 4 (2014).
- [23] Talar Atéchian, « Protocole de routage géo-multipoint hybride et mécanisme d’acheminement de données pour les réseaux ad hoc de véhicules (VANETs) », Thèse de doctorat de Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Spécialité : Informatique et Mathématiques, Soutenue le vendredi 24 septembre 2010.
- [24] S. Maag — C. Grepet — A. Cavalli, Un Modèle de validation pour le protocole de routage DSR, Institut National des Télécommunications CNRS UMR 5157 article (18 janvier 2005).
- [25] Aissaoui Bouthaina et Hemaizia Zineb, Un protocole de routage optimisé dans les réseaux Ad Hoc, Département des mathématiques et informatique MEMOIRE DE MASTER 2016.
- [26] Bachar Salim HAGGAR, Florent, « État de l’art sur les protocoles de routage dans les réseaux ad hoc », Thèse de doctorat de l’Université de Reims Champagne-Ardenne 2011
- [27] Azzedine Boukerche ‘ ‘Algorithms and Protocols for Wireless, Mobile Ad Hoc Networks’ ’, university of ottawa canada 2009.

- [28] ABDELLAOUI, Rachid, « SU-OLSR une nouvelle solution pour la sécurité du protocole OLSR », MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC 2009
- [29] MOHAMED BOUARIR, « Protocole de routage intelligent pour les réseaux ad hoc de véhicules », Mémoire de l'Université de Québec 2012.
- [30] Ignacy GAWĘDZKI, « Algorithmes distribués pour La sécurité et la qualité de service dans les réseaux ad hoc mobiles », Thèse de doctorat de l'Université de Paris-Sud 2008.
- [31] DADOUN OUIZA, GUENDOZ OUIZA, Le routage dans les réseaux véhiculaires VANETs, Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 2017.
- [32] POONAM DHAMAL et all, « Broadcasting Routing Protocols in VANET », Oriental Journal Of Computer Science & Technology, November 29, 2011
- [33] Suresh Kumar et all, « Qualitative Based Comparison of Routing Protocols for VANET », Journal of Information Engineering and Applications, Vol 1, No.4, 2011.
- [34] Ayoub Benchabana et Ramla Bensaci. Analyse des protocoles de routage dans les réseaux VANET Master de l'Université Kasdi Merbah Ouargla -2014.
- [35] Daniel Krajzewicz, Jakob Erdmann, Michael Behrisch, and Laura Bieker. Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility. International Journal On Advances in Systems and Measurements, 5 (3&4):128-138, December 2012
- [36] The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [37] GHRICI Abdellah, Melle. BOUTELLIS Meryem Wafa, L'étude des performances des protocoles de routage appliqués aux réseaux Véhiculaires Cloud Computing dans une zone urbaine, Université DJILALI BOUNAAMA KHEMIS MILIANA,2018
- [38] TAMIMOU ZAKARIA/ BENALLOU ZAKARYA, Simulation d'un Réseau VANET dans un Environnement CLOUD, Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER, UNIVERSITE de TLEMCEN 2015.
- [39] <https://fr.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>.