

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A/Mira de Béjaïa  
Faculté des Sciences Exactes  
Département d'Informatique

## *Mémoire de fin de cycle*

*Pour l'obtention du Diplôme de Master professionnel en Informatique*

*Option : Administrateur et Sécurité des Réseaux*

### Thème

---

**Evaluation des performances des protocoles  
de routage OLSR, AODV et GPSR pour les  
VANETs sous NS-3 et SUMO en milieu  
urbain.**

---

*Présenté par : M<sup>lle</sup> Hachemaoui Sabrina  
M<sup>me</sup> Hammouche Sabrina*

**Soutenu le 30 Juin 2016 devant le jury composé de :**

Présidente	M <sup>me</sup> B. Gasmi	M.A.A	U.A/Mira Béjaïa.
Promotrice	M <sup>me</sup> F. Zidani	M.A.A	U.A/Mira Béjaïa.
Examinatrice	M <sup>me</sup> N. Tassoult	M.A.A	U.A/Mira Béjaïa.

Promotion 2015/2016

# Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout-puissant qui nous a donné le courage, la force et la volonté pour mener ce travail.

Un grand merci pour nos familles, surtout nos parents qui nous ont épaulés, soutenus et suivis tout au long de ce projet.

A nos chères amis qui ont toujours été présents et fidèles sans oublier notre cher ami AMIMEUR Ghani qui nous a été d'une aide précieuse .

A notre encadreur **M<sup>me</sup>ZIDANI Ferroudja** pour tout le temps qu'elle nous a consacré, pour ces précieux conseils et pour toute son aide et son appui durant la réalisation.

Aussi à tous les enseignants et employés du département Informatique à qui on doit notre avancement.

Enfin, nous tenons aussi à remercier également tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes aimables et respectueux parents, plus particulièrement à ma mère qui a toujours viellé sur mes études.  
À mes chers frères et à ma sœur et à ma grande mère , mes tantes, mes oncles et à tous mes amis et à mes cousins (es) sans oublier Azzouz qui m'a vraiment soutenu.*

**Sabrina Hachemaoui**

*Je dédie ce modeste travail à mes aimables et respectueux parents, plus particulièrement à ma mère qui a toujours viellé sur mes études , à mon mari qui m'a vraiment soutenu et mes enfants Melissa et Badis.  
À mes chers frères et à ma sœur et son mari et son fils axil, et à ma chère aya et à mes grands parents maternels et paternels, mes tantes, mes oncles et à tous mes amis et mes cousins (es) sans oublier ma belle famille.*

**Sabrina Hamouche**

# Table des matières

<b>Table des Matières</b>	<b>i</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>vii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Réseaux véhiculaires, Caractéristiques et Architectures</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction . . . . .	3
1.2 Les réseaux ad hoc véhiculaires (VANETs) . . . . .	3
1.3 Les entités communicantes . . . . .	4
1.3.1 Véhicule . . . . .	4
1.3.2 Les RSUs (Road Side Unit) . . . . .	5
1.3.3 Équipement central . . . . .	5
1.4 Les modes de communication dans les réseaux VANETs . . . . .	6
1.4.1 Mode de communication de véhicule à véhicule (V2V) . . . . .	6
1.4.2 Mode de communication de véhicule avec utilisation d'infra- structures . . . . .	6
1.4.3 Mode de communication hybride . . . . .	7
1.5 Caractéristiques des réseaux VANETs . . . . .	8
1.6 Applications des VANETs . . . . .	9
1.6.1 Applications de sécurité routière . . . . .	9
1.6.2 Applications de confort . . . . .	10
1.7 Les différents types de messages . . . . .	10
1.7.1 Messages de contrôle . . . . .	10
1.7.2 Messages de sécurité . . . . .	11

1.7.3	Autres messages . . . . .	11
1.8	Standardisation et normalisation dans un VANET . . . . .	11
1.8.1	DSRC (Dedicated Short Range Communications) . . . . .	13
1.8.2	WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) . . . . .	13
1.8.3	La norme <i>IEEE</i> 802.11p . . . . .	13
1.8.4	La famille des standards <i>IEEE</i> 1609 . . . . .	13
1.9	Les défis . . . . .	14
1.9.1	Sécurité . . . . .	14
1.9.2	Qualité de service . . . . .	14
1.9.3	Canal radio fiable . . . . .	14
1.9.4	Routage . . . . .	15
1.10	Conclusion . . . . .	15
<b>2</b>	<b>Les protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires</b>	<b>16</b>
2.1	Introduction . . . . .	16
2.2	Routage dans les VANETs . . . . .	16
2.3	Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANETs . . . . .	17
2.3.1	Les protocoles de routage basés sur la topologie . . . . .	18
2.3.2	Les protocoles de routage basés sur la position . . . . .	21
2.4	Protocoles AODV . . . . .	23
2.5	Protocoles GPSR . . . . .	24
2.5.1	Greedy Forwarding (Transmission gloutonne) . . . . .	25
2.5.2	Perimeter Forwarding ou règle de la main droite . . . . .	27
2.6	protocole OLSR . . . . .	28
2.7	Conclusion . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Simulation et évaluations des protocoles OLSR, AODV et GPSR</b>	<b>30</b>
3.1	Introduction . . . . .	30
3.2	Environnement de simulation . . . . .	30
3.2.1	JOSM (Java Open Street Maps) . . . . .	31
3.2.2	eWorld . . . . .	31
3.2.3	SUMO (Simulator of Urban MObility) . . . . .	31
3.2.4	NS-3 (Network Simulator-3) . . . . .	32
3.3	Configuration des paramètres d'entrées . . . . .	33
3.3.1	Simulation du trafic routier . . . . .	34
3.3.2	Génération des fichiers traces de mobilité . . . . .	36
3.3.3	Script de simulation . . . . .	36
3.4	Les critères d'évaluation . . . . .	38
3.4.1	Taux de livraison de paquets . . . . .	38

3.4.2	Délai de bout en bout . . . . .	39
3.4.3	Nombre de paquets perdus . . . . .	39
3.4.4	Débit moyen . . . . .	40
3.5	Interprétation des résultats . . . . .	40
3.5.1	Résultats des simulations . . . . .	41
3.6	Conclusion . . . . .	47
	<b>Conclusion générale et perspective</b>	<b>48</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>50</b>
	<b>ANNEXE I : Les résultats de la simulation</b>	<b>53</b>
	<b>ANNEXE II : Script de simulation</b>	<b>56</b>

# Table des figures

1.1	Le réseau VANET [1]. . . . .	4
1.2	Véhicule intelligent et ses composants [19]. . . . .	5
1.3	Les RSUs [14]. . . . .	5
1.4	Le mode de communication V2V [4]. . . . .	6
1.5	Le mode de communication V2I [4] . . . . .	7
1.6	Le mode de communication hybride [4]. . . . .	7
1.7	Le modèle DSRC/WAVE [19]. . . . .	12
2.1	Classification des protocoles de routage dans les VANETs [20]. . . . .	17
2.2	Mécanisme de routage AODV [1]. . . . .	24
2.3	Technique du Greedy Forwarding[11]. . . . .	25
2.4	Scénario d'un maximum local [11]. . . . .	26
2.5	Exemple d'utilisation de la règle de la main droite [11]. . . . .	27
2.6	sélection des MPRs [11]. . . . .	28
3.1	Sumo. . . . .	32
3.2	Processus de simulation d'un VANET avec SUMO et NS-3. . . . .	34
3.3	Exemple de configuration des noeuds avec SUMO. . . . .	35
3.4	Exemple de configuration d'une liaison avec SUMO. . . . .	35
3.5	Taux de livraison de paquets. . . . .	41
3.6	Débit en (bit/s). . . . .	42
3.7	Délai moyen de bout-en-bout. . . . .	42
3.8	Nombre de paquets perdus. . . . .	43
3.9	Taux de livraison de paquets. . . . .	43
3.10	Débit. . . . .	44
3.11	Délai. . . . .	44
3.12	Nombre de paquets perdus. . . . .	45
3.13	Taux de livraison de paquets. . . . .	45

3.14 Débit. . . . .	46
3.15 Délai. . . . .	46
3.16 Nombre de paquets perdus. . . . .	47



# Liste des tableaux

- 3.1 Tableau comparatif des differents Simulateurs. . . . . 33
- 3.2 Les paramètres utilisés dans les différents scénarios. . . . . 40
- 3.3 Taux de livraison des paquets (premier scénario). . . . . 53
- 3.4 Débit(bit/s)(premier scénario). . . . . 53
- 3.5 Délai(ms)(premier scénario). . . . . 53
- 3.6 Nombre de paquets perdus (premier scénario). . . . . 54
- 3.7 Nombre de paquets perdus (deuxième scénario). . . . . 54
- 3.8 Debit(bit/s) (deuxième scénario). . . . . 54
- 3.9 Délai(ms)(deuxième scénario). . . . . 54
- 3.10 Taux de livraison des paquets (deuxième scénario). . . . . 54
- 3.11 Taux de livraison des paquets(troisième scénario). . . . . 54
- 3.12 Debit(bit/s)(troisième scénario). . . . . 55
- 3.13 Delai(ms)(troisième scénario). . . . . 55
- 3.14 Nombre de paquets perdus(troisième scénario). . . . . 55

# Liste des abréviations

<b>A-STAR</b>	Anchor-based Street and Traffic Aware Routing.
<b>AODV</b>	Ad-hoc On-demand Distance Vector.
<b>DSDV</b>	Dynamic destination Sequenced Distance Vector
<b>DSR</b>	Dynamic Source Routing
<b>DSRC</b>	Dedicated Short Range Communication
<b>GPS</b>	Global Positioning System/Satellite
<b>GPRS</b>	General packet radio service
<b>GPSR</b>	Greedy Perimeter Stateless Routing
<b>I2V</b>	Infrastructure to Vehicule.
<b>IEEE</b>	Institute Of Electrical and Electronics Engineers
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>JOSM</b>	Java Open Street Map
<b>MAC</b>	Medium acces control
<b>MANET</b>	Mobile Ad hoc NETwork
<b>MPRs</b>	Multi Point Relays
<b>NS-2</b>	Network Simulator 2
<b>NS-3</b>	Network Simulator 3
<b>OBU</b>	One Boaed Unit
<b>OLSR</b>	Optimized Link State Routing Protocol
<b>OSI</b>	Open Systems Interconnection
<b>RERR</b>	Request-Error
<b>RREP</b>	Route-reply
<b>RREQ</b>	Route-Request
<b>RSU</b>	Road Side Unit
<b>SUMO</b>	Simulator Of Urban Mobility
<b>V2I</b>	Vehicle to Infrastructure.
<b>V2V</b>	Vehicle to Vehicle.

<b>VANET</b>	Vehicular Ad hoc NETwork
<b>WAVE</b>	Wireless Access in Vehicular Environment
<b>Wifi</b>	Wireless Fidelity

# Introduction générale

Le nombre de véhicules en circulation est de plus en plus important. En 2010, nous avons dépassé le milliard de voitures sur les routes, et l'augmentation est en moyenne de 35 millions par an. Liés à cette croissance constante, les accidents de la route font partie des dix principales causes de mortalité dans le monde. Afin de réagir à cette situation, l'amélioration de la sécurité routière est devenue une préoccupation. C'est dans cet esprit que sont apparues un certain nombre de recherches qui visent non seulement à réduire le nombre de morts sur les routes et à améliorer les conditions de la circulation, mais aussi à diminuer les embouteillages et la pollution. Les réseaux véhiculaires mobiles, mieux connus sous le nom de Vehicular Ad-hoc NETWORK (VANET), sont fixés pour ces objectifs.

Un réseau véhiculaire mobile est un réseau de type ad-hoc. Un réseau ad-hoc est capable de se mettre en place de façon autonome. Ils peuvent utiliser, de façon opportuniste, les communications avec des infrastructures, permettant ainsi un accès à d'autres réseaux et donc aussi, à Internet. Les différentes infrastructures utilisées dans le cadre des VANETs sont appelées (RSU)"Unités de Bords de Routes". Ces unités peuvent être des feux de circulation, des parcomètres, ou toute autre borne placée au bord de la route [10].

Pour acheminer les informations d'un véhicule à un autre à travers un réseau composé de beaucoup de véhicules, il est nécessaire d'effectuer un routage rapide et efficace de l'information.

Le routage est une méthode d'acheminement des informations vers la bonne destination à travers un réseau de connexion donnée. Il consiste à assurer une stratégie qui garantit, à tout moment, un établissement de routes qui soient correctes et efficaces entre n'importe quelle paire de nœuds appartenant au réseau.

Le routage de l'information dans les réseaux véhiculaires mobiles n'est pas un problème simple. En effet, les VANETs sont des réseaux spontanés qui doivent être en mesure de se mettre en place de façon autonome. De plus, les VANETs sont utilisés pour l'amélioration de la sécurité routière, c'est-à-dire pour la prévention et la diminution des accidents de la route. Dans ce contexte, les messages qui transitent sur le réseau doivent être délivrés dans des délais courts et sans perte. Afin de répondre à ces problèmes, les chercheurs ont développé un certain nombre de protocoles de routage de l'information. Toutefois, la plupart de ces protocoles ne prennent pas en compte les différentes spécificités qu'implique un réseau véhiculaire mobile et ne sont souvent efficaces que dans des situations particulières. En effet, un VANET doit être efficace en ville, en campagne et sur autoroute, dans des situations d'embouteillages, de circulation fluide, mais aussi dans les situations d'urgences.

Dans ce mémoire nous allons choisir trois protocoles de routage AODV, GPSR et OLSR afin de d'évaluer leurs performances.

Et pour cela nous nous sommes basés sur la version 3.19 du simulateur NS-3 (Network Simulator 3). Pour simuler le trafic routier, nous avons utilisé une carte de réseau routier que nous avons configurée dans l'outil eWorld après l'avoir importé par JOSM, puis nous l'avons exporté vers le Simulateur SUMO (Simulator Urban Mobility) version 0.25.0 pour générer le modèle de mobilité. Nous l'avons ensuite intégré à NS-3 à l'aide de Ns2MobilityHelper.

Notre mémoire est composé de trois chapitres. Dans le premier chapitre nous allons présenter de manière générale les réseaux véhiculaires (caractéristiques, architectures, applications). Dans le deuxième chapitre nous allons détailler les différents protocoles de routage dans réseaux véhiculaires et leur fonctionnement. Le troisième chapitre est consacré à l'évaluation des protocoles OLSR, AODV et GPSR, nous allons effectuer une comparaison de performances entre ces protocoles en terme de taux de livraison de paquets, délai de bout en bout, nombre de paquets perdus et débit moyen et nous avons présenté les résultats obtenus au cours de la simulation.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale, qui présente les perspectives que nous allons tracer pour la poursuite de ce mémoire.

## 1.1 Introduction

Les réseaux ad hoc véhiculaires (VANET) ne sont qu'une application des réseaux ad hoc mobiles (MANET). VANET permet aux véhicules d'échanger des informations entre eux (vitesse, position, cas d'un accident, ralentissement) ou avec des stations de base placées tout au long des routes (pour demander des informations ou accès à internet) ce qui forme un système de transport intelligent (STI)[13].

L'objectif principale de tel réseaux est d'améliorer la sécurité routière. Pour la mise en place de tel réseaux, certain équipements électroniques doivent être installés au sein des véhicules tel que les dispositifs de perception de l'environnement (radar, camera), un système de localisation GPS et bien sur une plateforme de traitement [13].

Dans ce chapitre nous allons donner une vue générale sur les réseaux VANETs (Caractéristiques, architectures, applications et standards).

## 1.2 Les réseaux ad hoc véhiculaires (VANETs)

Un réseau VANET est un réseau de communication entre véhicules intelligents équipés de calculateurs, de périphériques réseau et de différents types de capteurs.

Les VANET font parti de la famille des réseaux mobiles 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. Ils peuvent communiquer directement entre eux (V2V : Véhicule to Véhi-

cule) afin d'échanger des informations sur le trafic par exemple ou avec des stations de bases placées tout au long des routes (accès à internet...) (V2I : Véhicule to Infrastructure).

L'objectif principale des réseaux VANETs est d'améliorer la sécurité routière tout en élaborant des routes plus sûres et efficaces en fournissant des informations opportunes aux conducteurs [10]. Un exemple d'un réseau VANET est illustré dans la Figure 1.1 .

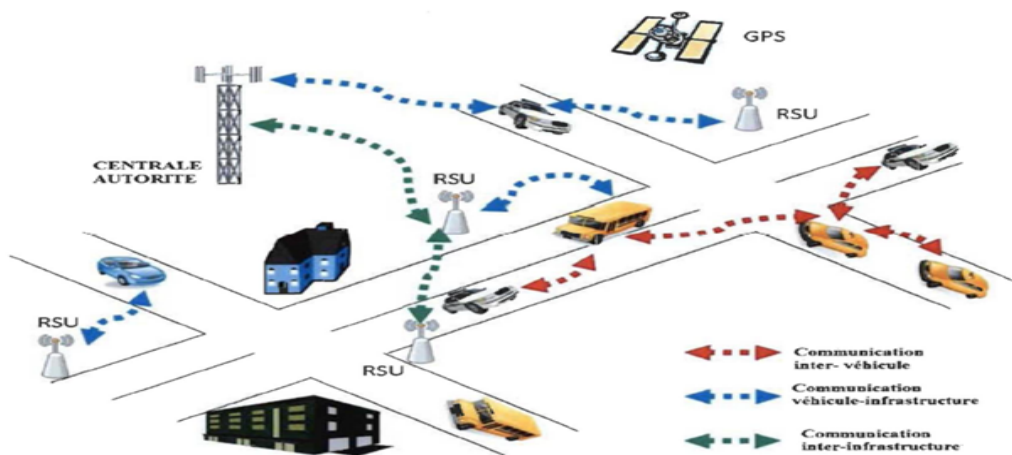


FIG. 1.1 – Le réseau VANET [1].

## 1.3 Les entités communicantes

Dans un réseau véhiculaire sans fil, il existe plusieurs entités permettant la Communication, parmi ceux-ci : les véhicules, les RSUs ainsi que l'équipement central les équipements personnels, comme les téléphones, tablettes, etc. peuvent se connecter aux véhicules, néanmoins celle-ci ne font pas partie des VANETs [19].

### 1.3.1 Véhicule

Les véhicules sont le centre des entités du réseau. Ils possèdent de nombreux capteurs et unités de calcul à bord permettant de gérer et traiter les informations reçues. Les Véhicules sont équipés de bornes "On Board Unit"(OBU).

L'OBU est l'interface de calcul, de localisation et d'émission/réception de messages dans le réseau[14]. La figure suivante montre un modèle de véhicule intelligent .

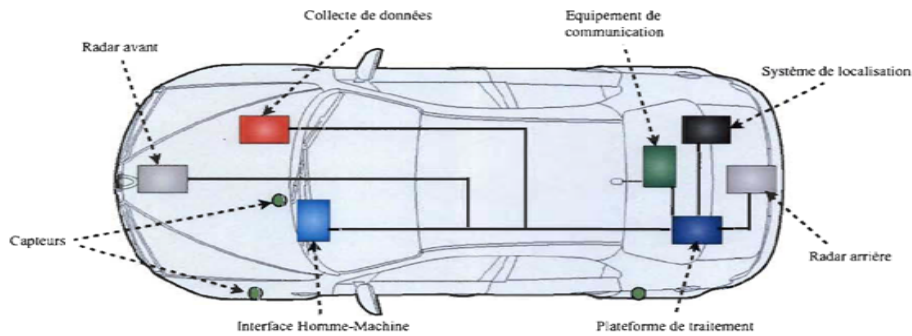


FIG. 1.2 – Véhicule intelligent et ses composants [19].

### 1.3.2 Les RSUs (Road Side Unit)

Les RSUs sont les bornes au bord de la route. Elles ont deux fonctions : Dans un premier temps, elles diffusent les informations météorologiques et le trafic routier ; dans un second temps, elles permettent également de retransmettre l'information sur de longues distances entre les véhicules et vers les points d'entrée du réseau pour y connecter les véhicules aux différentes applications proposées[14][19] comme le montre la figure 1.3.

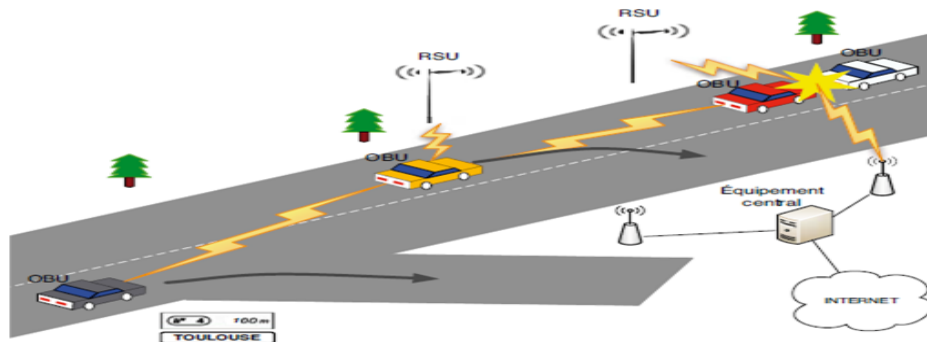


FIG. 1.3 – Les RSUs [14].

### 1.3.3 Équipement central

L'équipement central est quant à lui transparent pour l'utilisateur. Il est utilisé côté serveur. Il est un point d'entrée au réseau internet et il fournit des services et applications pour les VANETs (exemple : paiement en ligne, vidéo à la demande, etc.)[14].



## 1.4 Les modes de communication dans les réseaux VANETs

Dans les réseaux de véhicules, on peut distinguer trois modes de communication, les communications Véhicule-à-Véhicule(V2V), les communications Véhicule-à-Infrastructure(V2I) et hybride. Dans cette section, nous présentons le principe de chaque mode :

### 1.4.1 Mode de communication de véhicule à véhicule (V2V)

Dans ce mode, aucune infrastructure n'est utilisée, aucune installation n'est nécessaire sur les routes, chaque véhicule est équipé pour communiquer directement avec un autre véhicule (voire la figure 1.4) s'il se situe dans sa zone radio, ou bien par le biais d'un protocole multi-sauts qui se charge de transmettre les messages de bout en bout en utilisant les nœuds voisins qui les séparent comme des relais [22][24].

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



FIG. 1.4 – Le mode de communication V2V [4].

### 1.4.2 Mode de communication de véhicule avec utilisation d'infrastructures

Ce mode de communication (figure 1.5) permet une meilleure utilisation des ressources partagées et démultiplie les services fournis (par exemple : accès à Internet, échange de données de voiture-à-domicile, communications de voiture-à-garage de réparation pour le diagnostic distant, etc.). Les points d'accès RSU (Road Side Units) déployés aux bords des routes ; rend ce mode inadéquat pour les applications liées à la sécurité routière car les réseaux à infrastructure ne sont pas performants quant aux délais d'acheminement [22][24].

L'inconvénient majeur de ce mode est le "coût" car l'installation des stations tout au long des routes est une tâche coûteuse et prend beaucoup de temps, sans oublier les coûts relatifs à la maintenance des stations.



FIG. 1.5 – Le mode de communication V2I [4]

### 1.4.3 Mode de communication hybride

Ce mode est une combinaison des communications véhicules à véhicules avec les communications de véhicules à infrastructures (voire la figure 1.6), et comme les portées des infrastructures (stations de bases) étant limitées alors que l'utilisation des véhicules comme relais permet d'étendre cette distance et d'éviter la multiplication des stations de bases à chaque coin de rue et cela conduit à une communication hybride très intéressante et économique [22][24].

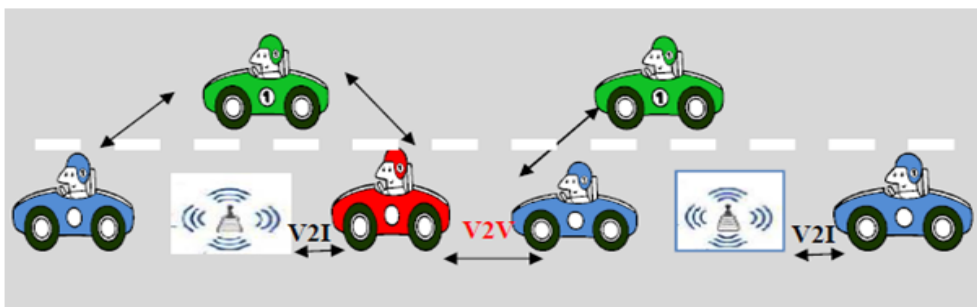


FIG. 1.6 – Le mode de communication hybride [4].

## 1.5 Caractéristiques des réseaux VANETs

Les éléments clés qui distinguent les réseaux véhiculaires :

### **Collecte d'informations et la perception de l'environnement proche**

Le conducteur à bord de son véhicule peut disposer d'un certain nombre d'informations et d'une meilleure visibilité grâce aux différents capteurs de toutes catégories (Caméras, capteurs de pollution, capteurs de pluies, capteurs de l'état de la route et de voiture, etc. . .), et cela lui permet de réagir aux changements de son environnement proche d'une manière appropriée [1].

### **Capacité de traitement, d'énergie et de communication**

Contrairement au contexte des réseaux MANET, les éléments du réseau VANET disposent suffisamment d'énergie qui peut alimenter les différents équipements électroniques d'une voiture intelligente. Ainsi, ils disposent d'une grande capacité de traitement et peuvent avoir plusieurs interfaces de communication (WIFI, Bluetooth et autres) [1].

### **Environnement de déplacement et modèle de mobilité**

Un modèle de mobilité reflète le comportement spatio-temporel des nœuds mobiles dans un réseau, ou le but est de représenter au mieux les conditions de déplacements dans un contexte particulier du monde réel.

La mobilité dans les VANET est liée directement au comportement des conducteurs et leurs réactions face à des obstacles ou des situations différentes et complexes rencontrées aux structures des routes (intersections, panneaux de signalisation, etc. . .) ou aux stations de base routières (infrastructures) que ce soit dans les autoroutes ou au sein d'une zone métropolitaine. Ces contraintes affectent énormément le modèle de mobilité et la qualité des transmissions radio [1].

### **Forte mobilité, topologie du réseau et connectivité**

La forte mobilité est le premier facteur qui distingue les réseaux véhiculaires des autres classes de réseaux sans fil, car la vitesse des véhicules varie selon l'environnement. Bien que les mouvements des véhicules soient relativement prédictibles, l'impact de la mobilité sur la connectivité et la topologie du réseau reste l'une des difficultés

majeures des réseaux véhiculaires. Par exemple, un noeud peut rejoindre ou quitter le réseau en un temps très court cela rend les changements de topologie très fréquente [1].

## 1.6 Applications des VANETs

Les domaines d'application des VANET peuvent être divisées en deux catégories : Applications pour la sécurité routière, appelées application de sécurité ; et les applications qui aident l'utilisateur dans la vie quotidienne, appelées applications de confort [23].

### 1.6.1 Applications de sécurité routière

Les applications de sécurité ont été conçues pour diminuer le nombre d'accidents sur les routes et éviter la perte de vie au conducteur et aux passagers qui l'accompagnent, en effet, les études ont prouvé que 60% des accidents de la route peuvent être évités si le conducteur est prévenu une demi-seconde avant la collision. Les VANET présentent au conducteur une vue globale sur l'environnement routier et sont éventuellement utilisés pour l'activation d'un système de sécurité [23]. Les points suivants résument les principaux cas où les applications de sécurité sont vraiment bénéfiques :

- *Alerte en cas d'accident* : Les voitures circulent à grande vitesse sur les routes, ne laissant qu'un petit moment de réaction au conducteur face aux véhicules devant lui. Si un accident venait à survenir, les véhicules derrière, entrent souvent en plein choc. Les applications de sécurité peuvent être utilisées dans ce cas pour avertir le conducteur d'un accident qui s'est produit plus loin dans la route ce qui éviterait un carambolage. Ils peuvent être utilisés pour envoyer un avertissement précoce au pilote et éviter qu'un accident ne survienne [23].
- *Alerte en cas de ralentissement anormal* : cette alerte avertit le conducteur qu'il faut ralentir si une anomalie de circulation est détectée par le réseau (freinage important effectué par une voiture, pluie, un véhicule qui effectue des travaux ...etc.) [23].
- *Gestion des intersections* : les intersections sont considérées comme étant très dangereuses. En effet, en 2003, plus de 45% des accidents reportés se sont passés dans des intersections aux Etats-Unis [23] ; une conduite collaborative où les véhicules peuvent échanger des renseignements sur ce qui les entoure pourrait

alerter le conducteur au bon moment pour éviter un tel désastre .

- *Trafic routier* : les applications de sécurité aident les pilotes à déterminer la meilleure route à prendre pour leur destination, ce qui réduira les embouteillages et démunira de manière indirecte le nombre d'accidents dans la route : les conducteurs seraient moins frustrés et plus disposés à suivre le code de la route

## 1.6.2 Applications de confort

Les applications de confort fournissent aux conducteurs et surtout aux passagers des informations et des divertissements pendant leurs voyages [23]. Et permet les services fournis par ces applications on trouve :

- *Connexion à internet* : Les VANET offrent aux utilisateurs un accès à internet leur permettant divers services : consultation des mails, radio en ligne et partage de music...
- *Application Peer to Peer* : les passagers dans la voiture pourraient profiter du réseau VANET pour un usage personnel, parmi les applications P2P on distingue : le partage de la music et des films, discussion instantanée entre passagers et même de jouer à des jeux en réseau.
- *Les smart parcs* : ce service permet de recueillir des informations sur la disponibilité d'espace de stationnement et coordonner les conducteurs afin de les guider vers des espaces libres gratuits.

## 1.7 Les différents types de messages

Les entités membres des réseaux sans fil véhiculaires vont générer et s'envoyer des messages. Dans ces échanges, différents types de messages vont être identifiés en fonction de l'environnement et des types d'applications utilisées. Nous pourrions discerner les types suivants : message de contrôle, message de sécurité et les autres types de message[4].

### 1.7.1 Messages de contrôle

Les messages de contrôle sont envoyés à intervalles réguliers, par convention. Chaque véhicule émet un message de contrôle toutes les 100 ms. Dans la littérature, ces messages sont aussi appelés message "beacon". Ils contiennent des informations

personnelles sur les véhicules telles que : sa vitesse, sa position GPS, sa direction, etc. Les messages de contrôle permettent à chaque véhicule d'avoir une vision locale de son entourage. Grâce à ce type de message, les véhicules se font connaître de leur entourage[4].

### **1.7.2 Messages de sécurité**

Un message de sécurité est généré lorsqu'un événement qui mérite l'attention du conducteur est détecté. Ces messages sont générés dans le cas d'un accident, de congestion, d'un obstacle sur la route, etc. Lorsqu'un message d'alerte est émis, il doit être retransmis à intervalle régulier pour assurer que l'alerte est toujours valide. De plus, ces messages doivent être de taille réduite pour pouvoir être retransmis rapidement dans le réseau. Les messages contiennent les informations des coordonnées du lieu de l'accident et les paramètres sur sa zone de retransmission [4].

### **1.7.3 Autres messages**

Les autres types de messages sont tous les messages qui ne sont pas des messages de contrôle ou des messages de sécurité. Il peut s'agir des messages d'une application, de l'envoi de courriel, etc. Ces messages ne sont émis qu'une seule fois [4].

## **1.8 Standardisation et normalisation dans un VANET**

Pour subvenir aux besoins des communications des réseaux véhiculaires sans fil, l'IEEE a étendu les protocoles 802.11 avec le protocole 802.11p . De plus, l'ASTM (American Society for Testing and Materials) a défini un nouveau standard, DSRC (Dedicated Short Range Communication) basé sur le 802.11a .

Le DSRC a été étudié pour répondre aux exigences des réseaux VANETs, en modifiant la couche MAC et la couche physique. En complément, l'IEEE a défini la gamme de protocoles 1609, ceux-ci appelé également WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) permettant l'accès à la technologie sans fil à bord des véhicules[19].

Le standard WAVE a été dérivé en quatre standards (de 1609.1 à 1609.4). Ils définissent pour chacun une couche réseau spécifique, dans l'ordre : l'architecture, le modèle de communication, la structure de gestion, la sûreté et l'accès physique.

La figure 1.7 présente la pile protocolaire complète pour les standards 802.11p et WAVE.

WAVE utilise en tous deux piles protocolaires ; la première dédiée aux applications de sécurité routière et l'autre spécifique à tous les autres types d'applications .(voire la figure suivante).

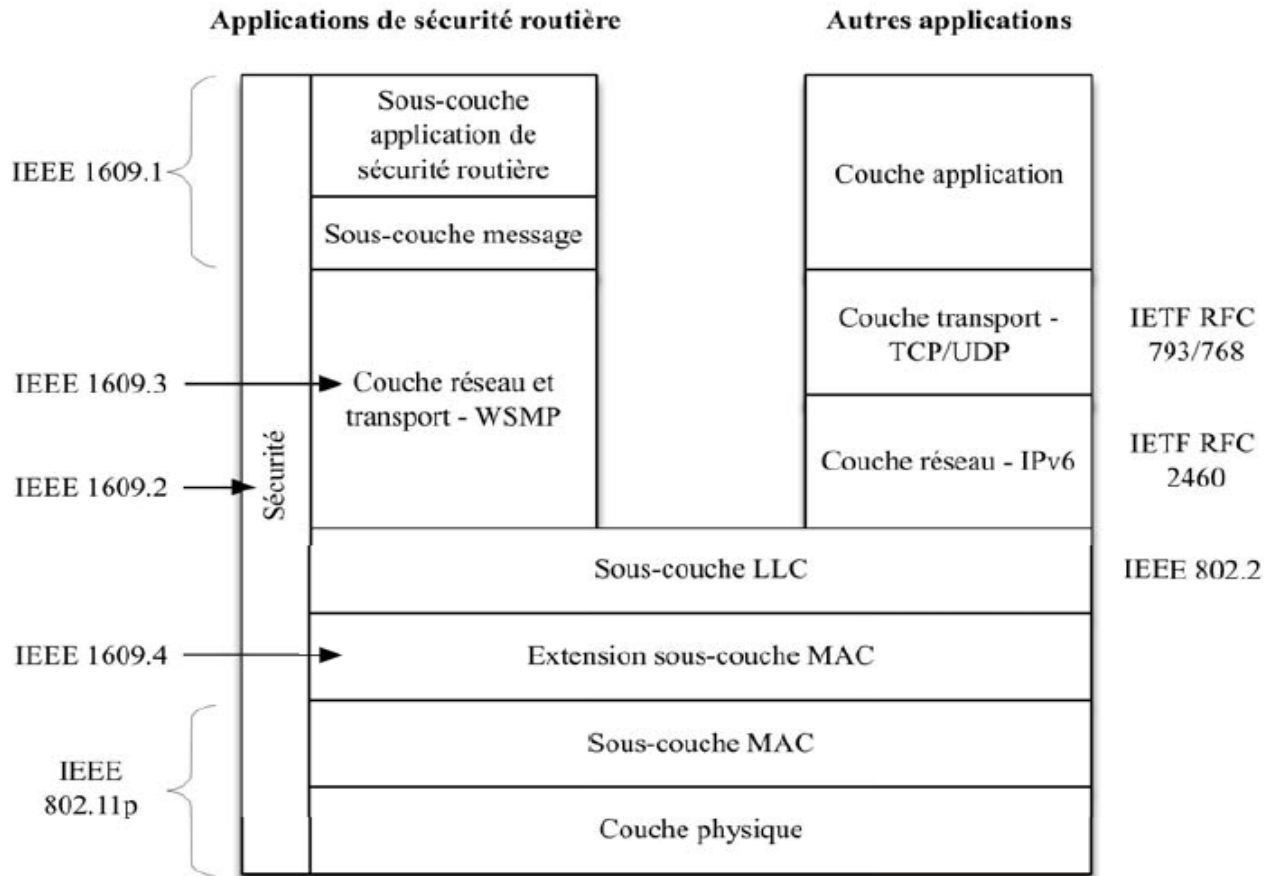


FIG. 1.7 – Le modèle DSRC/WAVE [19].

### 1.8.1 DSRC (Dedicated Short Range Communications)

Les premiers standards définis pour les communications sans fil dans les STI utilisent la bande de fréquence de 915MHz essentiellement pour assurer des services tels que, le péage électronique, l'accréditation et la surveillance des opérations des véhicules commerciaux.

Pour offrir une norme qui forme la base pour la mise en œuvre d'un large éventail des applications dans les réseaux véhiculaires, l'ITSA a sollicité la FCC (Federal Communications Commission) d'allouer une bande passante de 75MHz dans la gamme de fréquences [5,850GHz-5,925GHz] pour les communications à courte portée dédiées aux STI aux USA qui a donné naissance à la technologie DSRC [1].

### 1.8.2 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)

L'IEEE a développé une architecture connue sous le nom de WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments), pour fournir l'accès sans fil dans les environnements véhiculaires [9] [1]. L'architecture WAVE définit deux modes de communication véhicule-à-véhicule et véhicule-à-infrastructure.

### 1.8.3 La norme IEEE 802.11p

La norme IEEE 802.11p est un amendement du standard IEEE 802.11 que le groupe de travail IEEE (TGP : Task Group p) a commencé à développer en 2004 pour l'accès sans fil dans les systèmes de transport intelligents. Il définit les spécifications des couches MAC et PHY dans le cadre des réseaux véhiculaires [9] [1].

### 1.8.4 La famille des standards IEEE 1609

La norme IEEE 1609 regroupe 4 standards définis pour les réseaux sans fil véhiculaires [19].

**Le standard IEEE 1609.1** définit un gestionnaire de ressources permettant la communication entre le mode ad hoc et le mode infrastructure, mais également entre l'équipement de bord de route (RSU) et les OBUs des véhicules.

**Le standard IEEE 1609.2** définit le format des messages sécurisés pour le système DSRC/WAVE. Il spécifie les algorithmes pour sécuriser les messages de gestion et d'application.



Le standard *IEEE 1609.3* gère les services d'adressage et de routage dans le réseau.

Le standard *IEEE 1609.4* définit l'organisation, l'ordonnancement et l'utilisation des différents canaux de DSRC.

## 1.9 Les défis

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

### 1.9.1 Sécurité

La sécurité dans les réseaux véhiculaires ad hoc est cruciale, car elle affecte la vie des gens. Il est essentiel, par exemple, que l'information vitale ne puisse pas être modifiés ou supprimés par un attaquant [19]. Les communications passant par un véhicule du réseau ainsi que des informations sur les véhicules et leurs conducteurs doivent être garantis et protégés de façon à assurer le bon fonctionnement des systèmes de transport intelligents .

### 1.9.2 Qualité de service

La Qualité de service se mesure en fonction de l'application supportée. On peut distinguer plusieurs contraintes dans les applications utilisées dans les VANET, parmi : la latence, les messages doivent parvenir à destination dans des délais courts ; une connectivité non intermittente, par exemple les applications de confort tel que le transfert de fichiers où le téléchargement le besoin nécessitent une connectivité permanente, etc.[19].

### 1.9.3 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 [19] .

### **1.9.4 Routage**

Pour que les véhicules puissent communiquer entre eux, un protocole de routage doit être défini. En effet, quand les terminaux ne sont pas à une portée de transmission radio directe, le routage est exigé pour établir la communication entre les véhicules. Les problèmes auxquels doivent faire face ces protocoles sont la connectivité intermittente qui rend les routes déjà établies obsolètes et le partitionnement du réseau qui empêche la propagation des paquets. [19]

## **1.10 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux véhiculaires VANET qui ne sont qu'une particularité des MANETs, nous avons cité leurs caractéristiques, leurs applications et leurs contraintes. Nous avons montré aussi que la communication dans les réseaux véhiculaires avec chacun de ces modes V2I et V2V servent à améliorer la sécurité routière en évitant les collisions en cas d'un accident, encombrement, freinage, intersection. Etc. tout cela en échangeant des messages d'alerte de collision entre les véhicules.

Toutes ces applications nécessitent de tenir compte de l'importance de l'échange d'informations entre les véhicules. Une des contraintes des MANETs et VANETs est le problème d'acheminement des données entre les nœuds mobiles du réseau. Dans le chapitre suivant, nous allons voir le rôle de routage ainsi que la classification des protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires.

## 2.1 Introduction

Les réseaux Ad hoc se caractérisent par l'absence de l'infrastructure fixe, ce qui conduit ces réseaux d'assurer leur propre organisation d'acheminer les données entre les entités mobiles. Cet acheminement requière l'utilisation de protocoles de routages spécifiques.

Le rôle des protocoles de routage est d'acheminer et d'assurer un échange d'information entre les nœuds d'une manière efficace, comme les réseaux ad hoc 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 même si ils ne sont pas dans la même portée de transmission radio.

Ce chapitre est composé de deux parties. Dans la première partie nous allons présentés le routage dans les VANETs de manière globale et classifier les différents protocoles de routage selon les deux critères : basé sur la topologie et ceux basé sur la position (géographique). Dans la deuxième partie nous allons présentés le principe et le fonctionnement des protocoles que nous avons choisi dans notre mémoire.

## Partie I : Les protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires

### 2.2 Routage dans les VANETs

Le routage joue un rôle très important dans les VANETs puisque tous les services supportés, unicast ou multicast, se basent sur des communications multi-saut pour l'acheminement des données, les transferts des fichiers et les jeux.[25]

Pour réaliser les échanges, les protocoles de routage utilisent des informations locales, sur le voisinage immédiat, ou globales, concernant tout le réseau, pour déterminer les noeuds relais qui participent à l'acheminement des données.

Les communications multicast sont utilisées dans les applications de sécurité et de gestion de trafic telles que l'avertissement de collision et le platooning par contre les communications unicast sont généralement utilisées dans les applications de confort.

## 2.3 Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANETs

Les réseaux véhiculaires ont comme caractéristique principale une forte mobilité qui entraîne une topologie très dynamique. Cette caractéristique fait que les protocoles de routage traditionnels des MANETs sont pour la plupart inadaptée aux VANETs. En effet, dans les VANETs, la vitesse peut être beaucoup plus élevée que les MANETs dans certains environnements de communication comme les autoroutes.

Donc différentes solutions pour le routage dans les réseaux VANETs ont été proposées, nous distinguons deux classes de protocoles de routage (figure 2.1) : les protocoles basés sur la topologie, qui sont divisés en protocoles proactifs, réactifs et hybrides et les protocoles basés sur la localisation (géographique) qui utilisent la position physique des noeuds mobiles pour configurer le routage [1] [20].

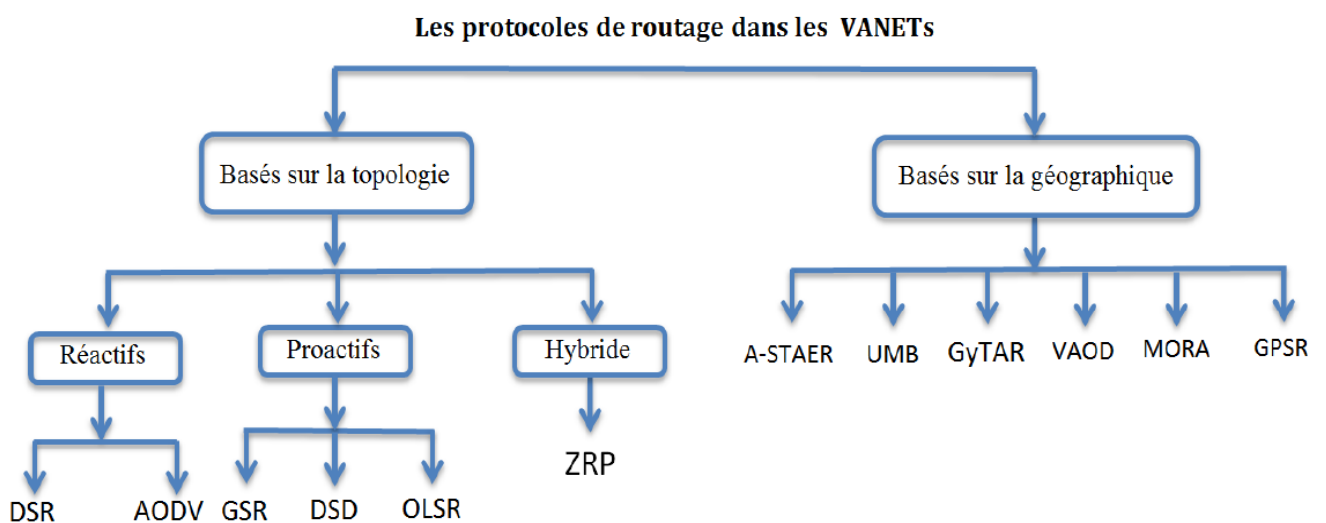


FIG. 2.1 – Classification des protocoles de routage dans les VANETs [20].

### **2.3.1 Les protocoles de routage 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.

#### **2.3.1.1 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 [1]. Les protocoles basés sur ce principe sont :

##### **Le protocole AODV**

Le protocole de routage AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) est un protocole décrit dans la RFC3561.

Ce protocole a été développé pour les MANETs. Lorsqu'un nœud doit commencer une transmission, AODV diffuse un paquet de découverte de façon broadcast. La destination va utiliser le chemin emprunté par le premier paquet de découverte qu'il a atteint. Il envoie alors un paquet réponse afin d'annoncer ce chemin à la source. L'envoi de données peut alors commencer. En cas de disparition d'un lien sur le chemin choisi, un paquet d'erreur est généré [1].

##### **Le protocole DSR**

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 à 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 à la demande, tandis que le second permet de s'assurer de la maintenance des routes tout au long de leur utilisation [16].

### **2.3.1.2 Les protocoles proactifs**

Dans les protocoles proactifs, chaque noeud 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 [1]. Les protocoles basés sur ce principe sont :

#### **Le protocole OLSR**

Ce protocole définit des noeuds qu'il nomme «multi-relais», seuls ces noeuds possèdent les tables de routage complètes. Cela réduit la diffusion excessive et le gaspillage de la bande passante par rapport au protocole DSDV. [2]

#### **Le protocole DSDV**

Il utilise l'algorithme de vecteur de distance afin de trouver le chemin optimal du noeud source au noeud destinataire. La mise à jour des tables se fait en fonction du temps (de façon périodique grâce à des timers), ou en fonction d'événement (mauvais débit de connexion, délais trop élevés, liens qui disparaissent)[16].

#### **Le protocole GSR**

Le protocole GSR (Global State Routing) est un protocole proactif à état de liens où chaque noeud 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 noeuds 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 noeuds. En plus, il a une lenteur dans la détection des changements de la topologie[16].

### **2.3.1.3 Les protocoles hybrides**

Les protocoles hybrides sont des protocoles cumulant les caractéristiques des protocoles proactif et réactif, les noeuds échangent des paquets de mise à jour régulièrement et inondation du réseau a fin d'atteindre les noeuds éloignées, leur avantage est qu'ils s'adaptent aux réseaux des grandes tailles.

#### **Le protocole ZRP**

Le protocole de routage ZRP (Zone Routing Protocol) est un protocole hybride qui combine les deux approches proactives et réactive. Le protocole ZRP divise le réseau en différentes zones. Pour chaque noeud, il définit une zone de routage exprimée en nombre de sauts maximal . Ainsi, la zone de routage d'un noeud inclut tous les noeuds qui sont à une distance au maximum de sauts. Les noeuds qui sont exactement à sauts sont appelés noeuds périphériques .

À l'intérieur de cette zone, ZRP utilise un protocole proactif et à l'extérieur de cette zone de routage, il fait appel à un protocole réactif [16].

### **2.3.1.4 Comparaison entre 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.
- 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 contre partie 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 contre partie un volume de signa-

lisation important. De nombreux débats ont lieu sur la performance des deux approches.

### **2.3.2 Les protocoles de routage basés sur la position**

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. Les protocoles basés sur ce principe sont :

#### **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 [18][26].

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.

#### **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 noeud dans la direction de diffusion pour faire un relayage de données sans aucune information sur la topologie.

La deuxième appelée 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. [4] [12] [10].

### **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 [18][21]. 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 noeud 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.

### **Le protocole VADD**

Le protocole de routage VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery)[26] 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.

## **Le protocole MORA**

Le protocole de routage MORA (MOvement-based Routing Algorithm) propose dans [16] exploite la position et la direction de mouvement de véhicules pour adapter les décisions de retransmission au contexte des véhicules et faire face ainsi à la forte mobilité des noeuds et au changement assez fréquent de la topologie.

## **Le protocole GPSR**

Le protocole de routage GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [7] est donc un protocole de routage basé sur la position, qui contient deux parties.

La première correspond à une méthode de choix du prochain noeud transmetteur qui aura le rôle de retransmettre les paquets, et cela tout en se basant sur les informations de position des voisins (noeuds 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.

## **Partie II : Fonctionnement des Protocoles OLSR, AODV et GPSR**

Dans cette partie nous avons défini le fonctionnement des protocoles AODV, GPSR et OLSR.

### **2.4 Protocoles AODV**

AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector) est un protocole réactif destiné aux réseaux mobiles Ad hoc. Dans ce protocole, les noeuds se réfèrent à leurs tables de routage comme une base pour acheminer les paquets. Ces tables de routages contiennent des informations qui sont mises à jour à partir des données contenues dans les paquets de contrôle.

Lorsqu'un noeud source désire envoyer des données vers un destinataire, il vérifie tout d'abord dans sa table de routage s'il existe une route valide vers ce destinataire. Si la route n'est pas trouvée, le noeud source lance la procédure de découverte de route en diffusant en broadcast un paquet RREQ à la recherche d'un chemin vers le destinataire. A la réception de ce paquet, le noeud répond par un paquet RREP s'il est lui-même le destinataire ou s'il possède dans sa table une route vers la destination (figure 2.2).

Dans le cas contraire, c'est-à-dire si la table de routage ne contient pas de route vers le destinataire, le noeud rediffuse le RREQ. Une fois la route trouvée, le noeud source transmet les paquets de données en transitant de proche en proche et chaque noeud détermine le prochain relai à partir de sa table de routage. En cas de rupture de route, le noeud intermédiaire envoie un paquet RERR pour informer la source qui décide ou non de recommencer l'envoi du paquet [1].

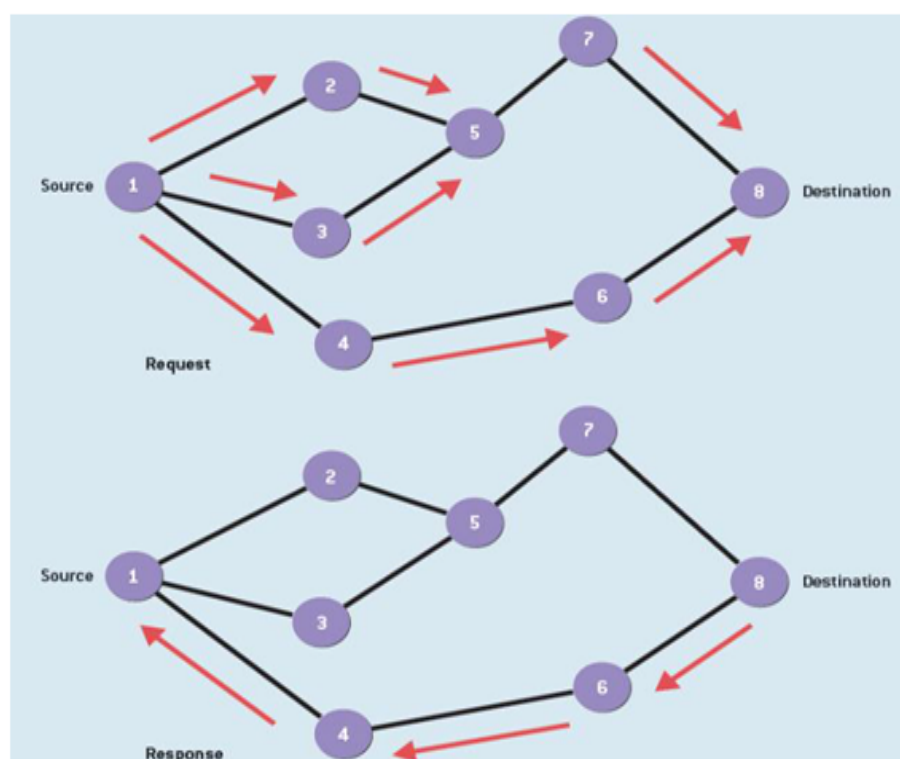


FIG. 2.2 – Mécanisme de routage AODV [1].

## 2.5 Protocoles GPSR

Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) est un protocole de routage géographique (Position Based), unicast et réactif. Dans les protocoles géographiques tels

que GPSR, la source connaît sa position, la position de ses voisins et la position du destinataire en question. Les informations liées à la position des noeuds sont récupérées via un GPS. Le protocole GPSR utilise deux mécanismes pour transmettre un paquet à son destinataire :

- *Transmission Gloutonne (Greedy Forwarding)* Consiste à envoyer les données vers le noeud le plus proche du destinataire qui se trouve en portée radio. C'est la méthode par défaut.
- *Transmission de Périmètre (Perimeter Forwarding)* GPSR fait appelle à cette technique de transmission quand la méthode par défaut n'aboutit pas

### Algorithmes et mécanismes utilisés par le GPSR

Comme nous l'avons mentionné précédemment, GPSR achemine les paquets selon deux mécanismes : selon la densité et la topologie du réseau : "Greedy Forwarding" et "Perimeter Forwarding " appelés respectivement GF, PF.

Nous avons présenter et détailler ces deux mécanismes.

#### 2.5.1 Greedy Forwarding (Transmission gloutonne)

Le mécanisme GF construit un chemin grâce aux noeuds qui se trouvent entre la source et la destination. Chacun des noeuds intermédiaires peut faire localement un choix gourmand (greedy) optimal dans le choix du prochain saut pour un paquet. Un noeud de retransmission/ relayage achemine le paquet qu'il reçoit et le fait parvenir à son voisin le plus proche géographiquement à la destination du paquet. Ce mécanisme est répété de manière récursive jusqu'à ce que la destination soit atteinte. [11].

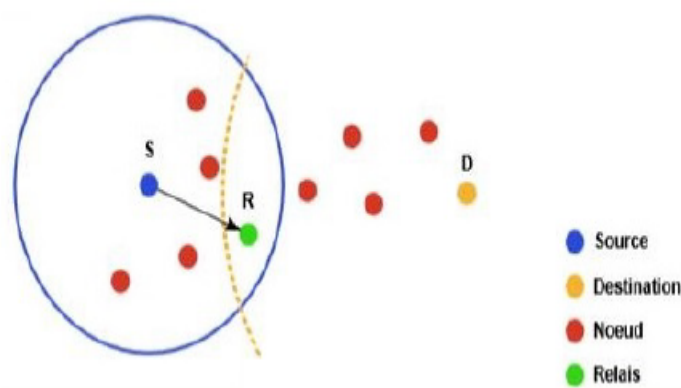


FIG. 2.3 – Technique du Greedy Forwarding[11].

La figure 2.3 représente un exemple de choix gourmand du prochain saut. Ici, le noeud S reçoit ou génère un paquet destiné à D. La zone de couverture de S est désignée par le cercle plein de couleur bleue autour de S et l'arc dont le rayon est égal à la distance entre R et D est représenté par une ligne discontinue. S relaye le paquet à R, car la distance entre R et D est inférieure à celle entre D et n'importe quel autre voisin de S. Ce processus de transfert gourmand se répète jusqu'à ce que le paquet atteigne D.

Afin qu'un noeud puisse connaître la position de ses voisins et construire sa table de voisinage, un algorithme dit Beaconing algorithm est utilisé. Chaque noeud informe son voisin de sa position, et signale sa présence grâce à des messages de contrôle (messages Hello) qui contiennent la position et l'identifiant du noeud. Cet échange périodique de paquets permet de construire une table qui contient l'ID du noeud et sa position.

La période d'émission des messages Hello dépend du taux de mobilité dans le réseau ainsi que de la portée radio des noeuds. En effet, lorsqu'un noeud ne reçoit pas de messages Hello d'un voisin après un temps T, il considère que le voisin en question n'est plus dans sa zone de couverture et l'efface de sa table de position. Cependant, Il existe des topologies où cette stratégie peut échouée dans le cas où il n'existe pas de noeuds voisins proche de la destination que le noeud lui-même. Un exemple d'une telle topologie est représenté dans la figure 2.4 suivante :

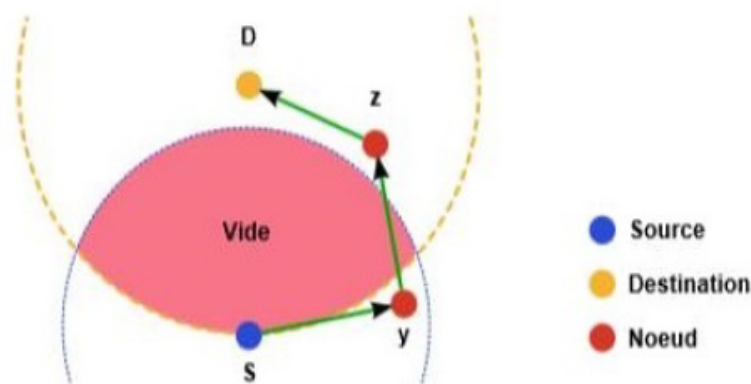


FIG. 2.4 – Scénario d'un maximum local [11].

Sur cette figure, S est plus proche de D que son voisin y. Ainsi le chemin ( $x \rightarrow y \rightarrow z \rightarrow D$ )

existe vers D, S ne choisira pas de transmettre à y avec la technique du Greedy Forwarding. Pour résoudre ce problème, un autre mécanisme doit être utilisé pour transmettre les paquets dans ce genre de situations.

### 2.5.2 Perimeter Forwarding ou règle de la main droite

La méthode PF est utilisée dans le cas où l'algorithme Greedy Forwarding a échoué. C'est à dire quand il n'existe pas de noeuds voisins proches de la destination que le noeud lui-même. Le mode Perimeter Forwarding fait appel à la règle de la main droite. Lorsqu'un paquet arrive à un noeud S, le chemin à suivre est le prochain qui se trouve dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en partant de S et par rapport au segment [Source Destination] tout en évitant les liens déjà parcourus.

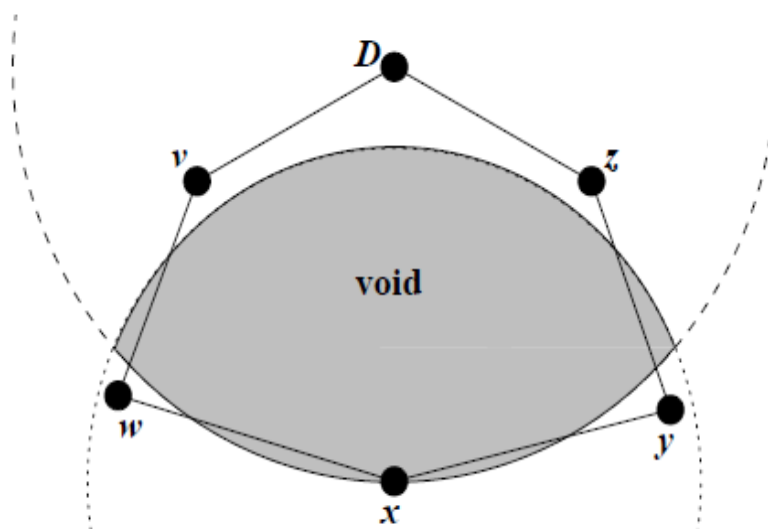


FIG. 2.5 – Exemple d'utilisation de la règle de la main droite [11].

On constate dans la figure 2.5 que l'intersection du cercle qui définit la portée radio de noeud émetteur "X" et celle du destinataire "D" ne contient aucun noeud voisin. Dans ce cas, le protocole fait appel à la méthode de la main droite à fin d'envoyer le paquet reçu. L'application de cette règle sur l'exemple de cette figure donne le chemin suivant :

$$X \longrightarrow W \longrightarrow V \longrightarrow D \longrightarrow Z \longrightarrow Y \longrightarrow X.$$

Cette combinaison de noeud traversée est appelée Périmètre . Le paquet est alors envoyé par la route :  $X \longrightarrow Y \longrightarrow Z \longrightarrow D \longrightarrow W \longrightarrow Y \longrightarrow D.$

## 2.6 protocole OLSR

OLSR est un protocole proactif dans lequel chaque noeud diffuse périodiquement sa table de routage. Ceci permet à chaque noeud de construire une vision globale de la topologie du réseau. La nature épisodique de ce protocole crée une grande quantité de frais généraux. Afin d'y remédier, il limite le nombre de noeuds mobiles qui relaient le trafic. Pour ce faire, il utilise des noeuds MPRs (Multi Point Relays) qui relaient les messages et permettent d'optimiser la procédure de diffusion. Les noeuds mobiles qui sont sélectionnés en tant que MPRs peuvent relayer les messages de contrôle et réduire ainsi les frais généraux. Les MPRs sont choisis par un noeud de sorte qu'il puisse atteindre chaque voisin à deux sauts par au moins un MPR [2][6]

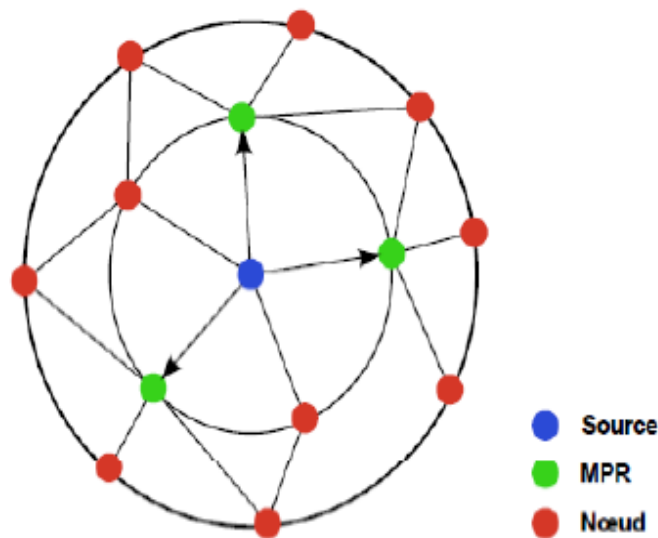


FIG. 2.6 – sélection des MPRs [11].

La figure 2.6 illustre un exemple de réseau avec un noeud source central qui a entamé son processus de sélection des noeuds MPRs parmi ses voisins à un saut. Ceux-ci lui permettent d'accéder de manière optimisée à ses voisins à deux sauts .

La mobilité des noeuds génère une modification dans la topologie du réseau, les routes sont ainsi modifiées. Des messages de contrôle de topologie (TC) sont diffusés à travers le réseau.

Tous les noeuds mobiles maintiennent une table de routage qui contient les routes à tous les noeuds de destination accessibles. Un noeud prend connaissance de la rupture d'un lien quand un noeud intermédiaire diffuse ses prochains paquets .

## **2.7 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté le concept de routage dans les réseaux Ad Hoc, nous avons défini le routage dans les VANETs. Ensuite, nous avons présenté la classification des protocoles selon différents critères, par conséquent, nous avons constaté que les différentes caractéristiques supportées dans les VANETs comme la forte mobilité qui entraîne une topologie très dynamique, et la grande vitesse rendent difficile, dans certains cas, la détermination des routes stables entre les sources et les destinations des données. En effet, cela nous a permis de conclure que le choix de protocole de routage dépend de plusieurs contraintes.

Enfin, nous nous sommes basés sur certains protocoles de routage qui sont de base défini dans les MANETs ainsi déployé dans les VANETs, à savoir AODV, GPSR et OLSR. Dans le prochain chapitre, nous présenterons l'évaluation des performances des protocoles de routage dans les VANETs.



## 3.1 Introduction

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 testes dans des environnements réels. Cependant, de part la nature distribuée, l'environnement et la topologie complexe des réseaux véhiculaires, 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.

Pour la réalisation de notre travail nous avons besoin d'un outil permettant de simuler la communication réseau entre les nœuds et d'un module permettant de générer une mobilité aussi proche que possible du comportement de véhicule.

Dans ce chapitre nous allons présentés l'environnement de simulation et la configuration des paramètres d'entré, ainsi que les critères d'évaluation. Enfin l'interprétation des résultats de simulation.

## 3.2 Environnement de simulation

Dans les VANETs, nous distinguons deux types de simulateurs : les simulateurs du trafic routier et les simulateurs réseau.

Les simulateurs de trafic routier sont utilisés pour la réalisation de la carte du réseau routier et la génération de la mobilité souhaitée (types de véhicules, vitesses, évènements de la route, etc.). Tandis que les simulateurs réseau se charge d'évaluer les performances des protocoles et les différents services réseaux. Pour réaliser la simulation nous avons utilisé les outils suivant :

- **JOSM** pour la récupération des données géographiques d'une partie de la carte de Bejaia (Quartier Sghir et Cité Dallas).
- **eWorld** pour l'extraction du réseau routier de ces deux quartiers.
- **Sumo** pour la visualisation et la simulation de ce réseau routier.
- **NS3** Comme simulateur de réseau.

### **3.2.1 JOSM (Java Open Street Maps)**

C'est une application Java qui permet d'exploiter les services de cartes libre OSM (OpenStreetMaps). JOSM permet entre-autres la récupération, la modification et la mise à jour des cartes sur OSM, dans ce travail on a eu recours à JOSM pour l'extraction de la carte des deux quartiers de Bejaia [4].

### **3.2.2 eWorld**

C'est un projet réalisé par des étudiants allemands de l'institut Hasso Plattner. C'est un outil qui permet de visualiser les cartes importé par des fournisseurs tels que Open Street map, les enrichir avec des évènements et les exporter vers un simulateur de trafic routier, dans notre cas SUMO [4].

### **3.2.3 SUMO (Simulator of Urban MObility)**

SUMO est un logiciel open source disponible pour Windows et Linux, qui permet d'effectuer des simulations de trafic routier. Il est très portable et nécessite uniquement l'installation des bibliothèques C++. Dans SUMO, chaque véhicule a son propre chemin. Le comportement du véhicule est vivant comme le changement de voie. Les routes dans SUMO sont présentées sous forme de plusieurs voies (figure3.1). Il y a des intersections à base de règles de circulation et d'autres à priorité.[3][8].

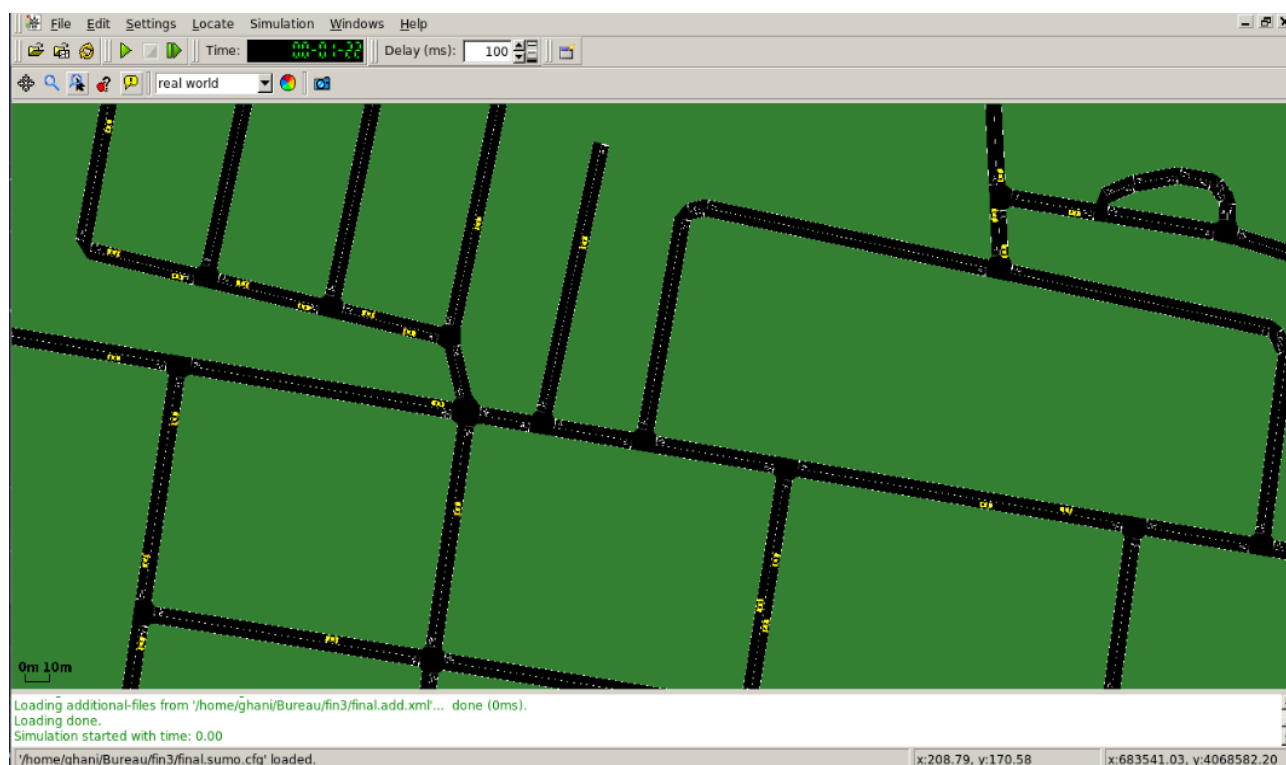


FIG. 3.1 – Sumo.

### 3.2.4 NS-3 (Network Simulator-3)

Un simulateur de réseau se compose d'une large gamme de technologies de réseau et de protocoles. Il est conçu pour aider les utilisateurs à créer des réseaux complexes à partir des classes représentant les modules de base pour construire un réseau.

Nous avons choisi de faire notre simulation avec le simulateur de réseau NS-3 (Network Simulator 3). Les raisons de ce choix sont justifiées par la robustesse du simulateur NS-3.

En effet, ce simulateur offre de meilleures performances en terme de rapidité de calcul et en temps de réponse. De plus, il garantit un passage à l'échelle jusqu'à 3000 noeuds. Enfin, c'est un simulateur destiné à la recherche. (Voir le tableau comparatif entre les différents simulateurs) .

Critères d'évaluations	NS-3	NS-2	OMNET++
Interface Utilisateur (Entrée / Sortie)	✓✓	✓✓	✓✓
Acceptabilité dans le milieu de la recherche scientifique	✓✓	✓✓	✓✓
Génération de trafic de données	✓✓	✓	✓
Modèles de mobilité	✓✓	✓✓	✓
Documentation	✓✓	✓✓	✓
Portabilité	✓✓	✓	✓
Stabilité	✓✓	✓	✓
Performance du moteur de simulation	✓✓	✓	✓
Évolutivité	✓✓	✓✓	✓✓

✓ Moyen  
 ✓✓ Meilleur  
 0 Resultats fiable  
 0 Fiabilité non vérifiée

TAB. 3.1 – Tableau comparatif des différents Simulateurs.

### 3.3 Configuration des paramètres d'entrées

Le processus de simulation d'un VANET se fait en plusieurs étapes, illustrées à la Figure 3.2.

Dans un premier temps, SUMO nécessite des fichiers d'entrées au format xml. Ces fichiers sont réunis dans un fichier de configuration dont le format est propre à SUMO : .sumo.cfg. Le fichier de sortie est alors au format xml. Il est ensuite traité par un programme en langage C++ (fourni par SUMO) qui permet de créer un fichier exploitable par NS-3.

À la fin de la simulation avec NS-3, il y a deux fichiers de sortie : un fichier contenant la trace de toutes les communications entre les noeuds de la simulation, et un fichier comportant les données de déplacement des noeuds durant la simulation, et pouvant être exécuté dans l'interface graphique de NS-3. Ce processus est détaillé dans les paragraphes suivants.

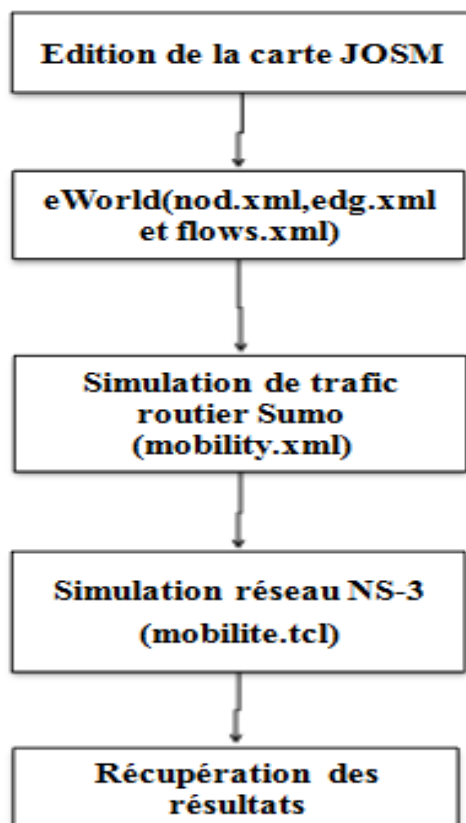


FIG. 3.2 – Processus de simulation d'un VANET avec SUMO et NS-3.

### 3.3.1 Simulation du trafic routier

Afin d'évaluer les performances d'un protocole de routage pour les réseaux véhiculaires, il est nécessaire de créer un scénario proche de la réalité basé sur un réseau routier déterminé.

#### 3.3.1.1 Préparation de la carte avec eWorld

Dans cette étape, nous avons importé une carte de la ville de Bejaia (Quartier Sghir et Cité Dallas) de l'éditeur de carte (JOSM) vers eWorld où nous avons configuré les points de départ des véhicules et leurs points d'arrivée. Nous avons défini les types des véhicules (nœuds) et les intersections à feux de circulation et ceux à priorité.

#### 3.3.1.2 Création des scénarios avec SUMO

Les fichiers .xml (nod.xml, edg.xml et flows.xml) générés à partir de eWorld contiennent les données du réseau routier, ces informations sont utilisées pour créer

un scenario avec SUMO.

- **Node file** : C'est un fichier composé d'un ensemble de nœud du réseau routier, ces derniers sont définis par les coordonnées x et y et un identificateur (id).

```
<nodes>
  <node id="dl" x="0" y="0"/>
  <node id="dr" x="10000" y="0"/>
</nodes>
```

FIG. 3.3 – Exemple de configuration des noeuds avec SUMO.

- **Edge file** : C'est un fichier qui relie les nœuds par des routes. Il est spécifié par un identifiant unique (id), un nœud source, un nœud destination, un priorité, nombre de voies et la vitesse maximal autorisée.

```
<edges>
  <edge id="1" from="dl" to="dr" spreadType="center" numLanes="3" speed="31"/>
</edges>
```

FIG. 3.4 – Exemple de configuration d'une liaison avec SUMO.

- **Net file** : C'est un fichier généré à partir de la commande NETCONVERT qui prend en argument les fichiers edg.xml et nod.xml. La commande NETCONVERT permet de lire ces fichiers et de les convertir dans le format SUMO. en exécutant la commande suivante :

```
netconvert -n=nom-fichier.nod.xml -e =nom-fichier.edg.xml
-output-file= nom-fichier.net.xml
```

- **Flows file** : C'est un fichier qui représente le flux des véhicules entre deux points nœud. Spécifiant le nœud de départ et le nœud d'arrivée, le nombre de véhicules, le temps de début et le temps de fin.
- **Route file** : C'est un fichier généré à partir de la commande DUAROUTER qui prend en argument deux fichiers : net.xml et flow.xml. La commande DUAROUTER s'exécute de la façon suivante :

```
duarouter -flows=xx.flows.xml -net=xx.net.xml  
-output-file=newxx.rou.xml
```

- **sumocfg file** : C'est le fichier résultant des deux fichiers Route file et Net file, sumocfg est donc le fichier de configuration de SUMO.

### 3.3.2 Génération des fichiers traces de mobilité

L'étape de la création des fichiers trace est la plus importante afin de créer un scénario pour un simulateur de réseau, NS-3 dans notre cas. Générer un fichier trace implique l'utilisation **TraceExporter.py** qu'on trouve par défaut dans SUMO. L'exportation ce fait en deux étapes :

- Crée un fichier **trace** pour sumo qui est **sumoTrace.xml** en utilisant la commande suivante :

```
sumo -c xx.sumo.cfg -fcd-output sumoTrace.xml
```

- On va convertir le fichier **trace** généré dans la première étape en un format trace qu'on peut utiliser dans un simulateur réseau. Dans notre cas, nous avons besoin des fichiers tcl.

La commande suivante renvoie trois fichiers de format tcl : **config.tcl**, **mobility.tcl** et **activity.tcl**.

```
Python traceExporter.py -i sumoTrace.xml -n xx.net.xml  
-ns2activity-output=activity.tcl -ns2config-output=config.tcl  
-ns2mobility-output=mobility.tcl
```

### 3.3.3 Script de simulation

Une fois que le fichier de mobilité dédié à l'environnement des réseaux véhiculaires est configuré, nous pouvons à présent commencer à écrire notre script de simulation. Ce dernier peut être écrit en C++ ou en Python. Dans le cadre de notre travail, nous utilisons le C++ car il est plus rapide que le Python. Notre script pour évaluer les protocoles GPSR, OLSR et AODV comprend les étapes suivantes :

#### Configuration du canal WIFI

Premièrement, nous avons créé le canal Wifi. Dans NS-3, il existe plusieurs technologies pour configurer la couche liaison de données. Pour les VANETs, le modèle WAVE est utilisé. Pour le faire nous nous sommes appuyés sur l'exemple qui se trouve dans le module WAVE de NS-3.

Après cette étape, il faut définir le modèle de propagation pour le canal wifi.

Les modèles de propagation implémentés dans NS3 ont pour objectif de prédire la puissance de réception du signal des paquets.

Nous avons choisi le modèle Two Ray Ground qui prend en compte le chemin direct et la réflexion du sol. De plus, nous avons aussi utilisé le modèle Free car Two Ray Ground ne permet pas de spécifier la portée de communication des noeuds.

### ***Le Two-ray ground***

Le chemin en visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur est rarement le seul chemin de propagation. Le modèle two-ray ground considère deux chemins, le chemin en visibilité directe et le chemin réfléchi sur le sol.

Ensuite, Nous avons configuré le protocole MAC 802.11p en utilisant toujours le module WAVE.

### **Création des noeuds**

Après la création du canal Wifi, nous allons maintenant créer les noeuds pour définir la mobilité de ces derniers. NS-3 nous offre plusieurs modèles de mobilité. Pour importer le fichier de mobilité en format .tcl nous appelons la classe NS2MobilityHelper généré précédemment en utilisant SUMO. La classe NetDeviceContainer dans NS-3 nous permet de configurer tous les équipements utilisés dans la simulation.

### **Routage**

Après avoir importé la mobilité configuré dans le simulateur externe(SUMO), nous avons assigné un protocole de routage pour notre simulation suivi du protocole internet "IP". Dans notre cas, nous utilisons les classes GpsrHelper, AodvHelper, OlsrHelper pour les protocoles GPSR, AODV et OLSR respectivement . La classe InternetStackHelper est utilisée pour installer la pile internet au niveau de chaque noeud.

### **Adressage IP**

Dans NS3 on a choisi d'utiliser le type d'adressage ipv4 car celui-là est le plus familiarisé. La Classe à utiliser est Ipv4AddressHelper

Une fois que la simulation d'un scénario est achevée, les résultats sont affichés à l'écran. Pour cela, nous avons défini deux fonctions statiques. Une pour générer le trafic, une autre pour faire des calculs.



– **La fonction de génération du trafic :**

Objectif de cette fonction est d'envoyer les paquet. Ceci pour calculer le délai moyen de bout en bout et pour récupérer le temps où le première paquet est envoyé.

– **La fonction ReceivePacket**

Cette fonction se déclenche à chaque fois qu'un paquet est reçu. Elle est constituée de deux étapes, la première consiste à extraire l'entête du paquet. La deuxième, permet d'obtenir les informations collectées de l'entête et des données et de faire les calculs ci-dessous :

Pour calculer le débit moyen, il suffit de récupérer la taille des données reçues avec la fonction `GetSize ()` de la classe `racket` et le temps entre le premier et le dernier paquet reçu.

Pour calculer le délai moyen de bout en bout, il suffit de calculer les délais cumulés entre l'envoi et la réception de chaque paquet. Pour le faire, on utilise la fonction `Simulator : Now()` qui retourne le temps de l'évènement actuel et la fonction `GetTs()` qui retourne le temps d'encapsulation de l'entête.

Pour calculer le nombre de paquets reçus, il suffit tout simplement d'incrémenter le nombre de paquets reçus dans la fonction `ReceivePacket()`. Pour les autres métriques d'évaluation, nous avons exploité les résultats précédents pour les calculer.

## **3.4 Les critères d'évaluation**

Notre objectif dans ce mémoire réalisé sous NS-3 est d'évaluer les performances des trois protocoles de routages OLSR, AODV et GPSR selon les métriques suivantes :

### **3.4.1 Taux de livraison de paquets**

C'est un facteur très important pour évaluer les performances d'un protocole de routage dans n'importe quel type de réseau. Ces performances dépendent des différents paramètres choisis pour la simulation. Les facteurs les plus importants

sont la taille du paquet, le nombre de nœuds, la portée de communication et la structure du réseau. On peut obtenir le taux de livraison de paquet **PDR** (Packet Delivery Ratio) à partir de la somme de nombre de paquets reçus par le destinataire divisé par la somme de paquets émis par tous les nœuds émetteurs [15][17][10].

$$\text{PDR} = \frac{\sum \text{nbr de paquets recus par la destination}}{\sum \text{nbr depaquets envoyes par tous les noeuds source}} \quad (3.1)$$

### 3.4.2 Délai de bout en bout

Le délai moyen de bout en bout, c'est-à-dire la mesure du délai entre l'envoi du message par le noeud source et sa réception par le noeud destinataire, est le paramètre principal que l'on vise à améliorer lors de l'évaluation d'un protocole de routage. Un bon protocole à des délais moyens de bout en bout qui sont les plus bas possible [15][17][10]. Le délai moyen de bout en bout d'un paquet  $i$  entre une paire de noeuds Source-Destinataire est :

$$D = (T_{ri} - T_{si}) \quad (3.2)$$

Avec  $D$  le délai moyen de bout en bout,  $T_{ri}$  le temps au moment de la réception du paquet par le noeud destinataire  $r$ , et  $T_{si}$  le temps au moment de l'émission du paquet par le noeud source  $S$ . On fait ensuite la moyenne pour chacun des paquets envoyés par chaque pair de noeuds tout au long de la simulation, afin d'obtenir le délai moyen de bout en bout, soit

$$D = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n (T_{ri} - T_{si}) \quad (3.3)$$

Avec  $n$ , le nombre total de paquets reçus pendant la simulation.

### 3.4.3 Nombre de paquets perdus

Ce sont les paquets qui n'ont pas pu atteindre leur destination [15][17][10]. Cela est traduits mathématiquement par l'équation suivante :

$$D = \frac{\text{nbr paquets envoyes} - \text{nbr paquets recus}}{\text{nbr paquet envoyes}} \quad (3.4)$$

### 3.4.4 Débit moyen

Le débit (Throughput), correspond au ratio entre le nombre de paquets envoyés et le temps qui a été nécessaire à leurs transmissions. Afin de l'exprimer, on utilise la taille des paquets en bits. Le résultat est donc en bits/secondes [15][17][10]. On calcul le débit moyen pour toute la simulation à l'aide de la formule suivante :

$$debit\ moyen = \sum_{k=1}^n \frac{taille\ du\ paquet\ reçu}{(temps\ reception - temps\ emission)} \quad (3.5)$$

avec n, le nombre de paquets de données qui ont été reçus par les noeuds destinataires.

## 3.5 Interprétation des résultats

Dans cette partie nous allons utilisés les métriques que nous avons vu précédemment pour évaluer les performances des protocoles AODV, GPSR et OLSR. On applique les trois différents scénarios que nous allons définis, suivi des paramètres d'évaluations. Enfin, nous avons interprétés les graphes tracés à partir des résultats collectés lors de la simulation on utilisons Microsoft Office Excel.

Les différents paramètres que nous allons utilisés pour effectuer les teste sont illustré dans le tableau suivant :

Paramètres	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Nombre de noeuds	30,100 et 150	100	100
Temps de simulation	600 sec	1000 sec	600 sec
Porté de communication	80 m	80 m	80 m
Temps de pause	3 sec	1,2,4 et 9	3 sec
Taille d'un paquet	1024 ko	1024 ko	1024 ko
Nombre émetteur/récepteur	1/2	1/2	1/2,4/5 et 8/9
Nombre de paquet par noeud	100	100	100

TAB. 3.2 – Les paramètres utilisés dans les différents scénarios.

### 3.5.1 Résultats des simulations

#### 3.5.1.1 Premier scénario

Dans ce scénario, le nombre de noeuds connectés dans le réseau varie. Les résultats sont conclus lors de ces variations.

Nous avons obtenu les résultats représenté dans les figures suivantes :

#### Taux de livraison des paquets

Les résultats obtenus (figure 3.5) confirment que le taux de paquets délivrés par le protocole GPSR est plus élevés par rapport aux protocoles AODV et OLSR. En observant le graphe, on remarque que le PDR varie de la même manière pour les trois protocoles. Cela peut être à cause des noeuds intermédiaires qui coopèrent à la transmission des paquets au destinataire.

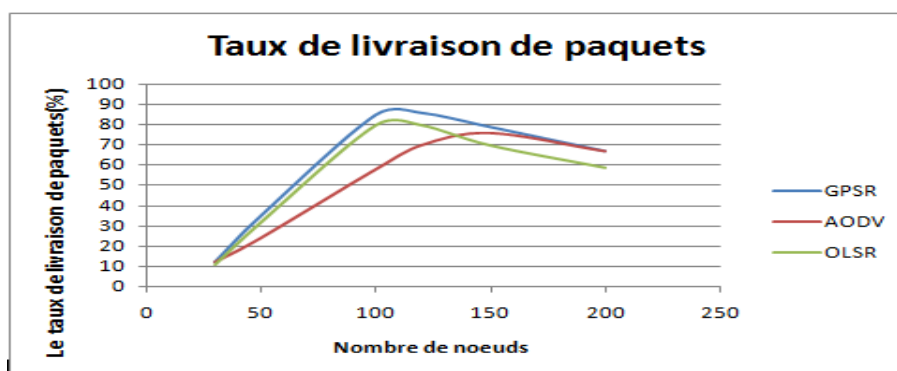


FIG. 3.5 – Taux de livraison de paquets.

#### Débit

D'après la figure 3.6 qui représente le débit en fonction du nombre de noeud, on constate que le débit de GPSR est nettement au dessus des deux autres protocoles AODV et OLSR.

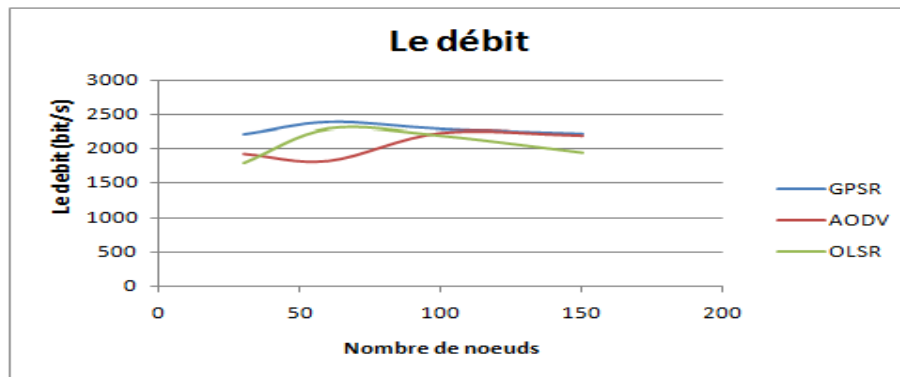


FIG. 3.6 – Débit en (bit/s).

### Délai moyen

Les résultats obtenus (figure 3.7) confirment que les performances du protocole GPSR reste plus ou moins stable comme le montre sa courbe. Tandis que les performances d'OLSR et AODV augmente puis diminues en augmentant le nombre de noeuds. La courbe de GPSR reste en dessous des deux courbes AODV et OLSR, cela est expliqué par le fait que avant la transmission des paquets le protocole AODV fait appel à une procédure de découverte de route et le protocole OLSR entame son processus de sélection des noeuds MPRs. Alors que le protocole GPSR utilise des messages Hello pour rafraichir périodiquement sa table de voisinage

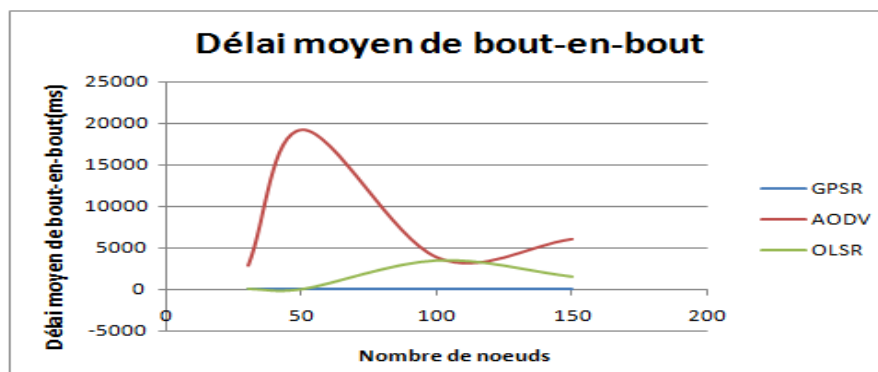


FIG. 3.7 – Délai moyen de bout-en-bout.

### Nombre de paquets perdus

On constate que GPSR présente moins de perte de paquets que les protocoles AODV et OLSR (figure 3.8).

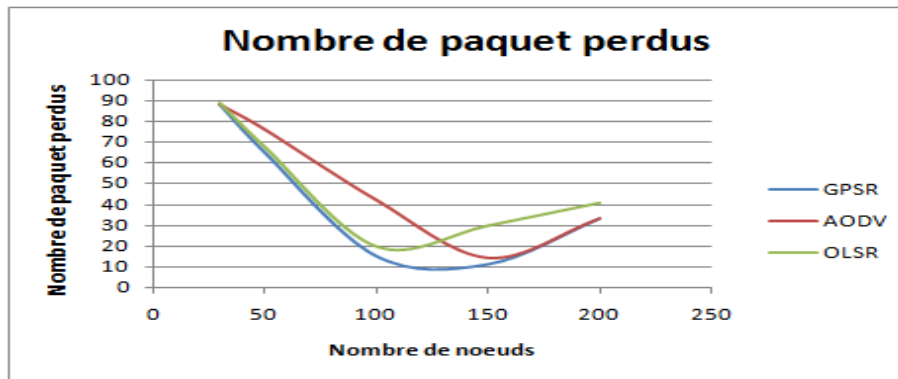


FIG. 3.8 – Nombre de paquets perdus.

### 3.5.1.2 Deuxième scénario

Dans ce scénario le nombre total de véhicules dans le réseau est fixé et le temps de pause varie, Le temps de pause est l'intervalle de temps qui sépare deux transmissions de paquets successives. Nous avons obtenu les graphes suivants :

#### Taux de livraison des paquets

Les résultats obtenus (figure 3.9 ) confirment que entre 1 et 2 second de temps de pause, les resultat d'AODV sont élevés par rapport a OLSR et GPSR en terme de taux de livraison de paquet. A partir de 2 seconde GPSR prend le dessus, avantagé par sa technique (géographique) de routage .

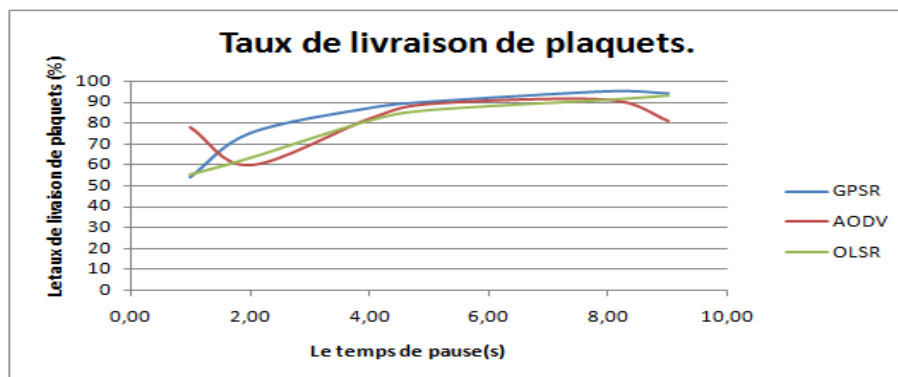


FIG. 3.9 – Taux de livraison de paquets.

#### Débit

Le graphe 3.10 représente le débit en fonction de temps de pause, on remarque que pour le temps de pause entre 1 et 2 second AODV présente de meilleurs résultats

que ceux des deux autres protocoles. A partir du temps de pause égale a 2 second, on remarque que les courbe des trois protocoles sont inversement proportionnel au temps de pause, sachant que la courbes de GPSR est légèrement au-dessus de celles de AODV et OLSR a partir de la deuxième seconde, ceci est du au processus de maintien de route dans AODV.

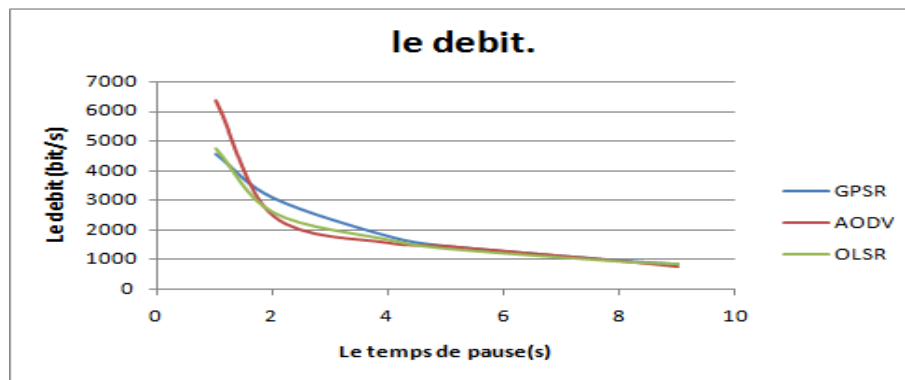


FIG. 3.10 – Débit.

### Délai

D'après la figure 3.11 ,le délai de bout en bout que présente GPSR reste stable dans l'intervalle de 1 a 10 ms. Les résultats de OLSR sont élevés au début de la simulation mais s'améliorent en augmentant le temps de pause avantagé par sa nature proactive (processus de sélection noeuds MPRs). AODV présente un délais de bout en bout proportionnel à l'augmentation du temps de pause, pénalisé par sa nature réactive qui l'oblige à chaque transmission de procédé à une recherche de route.

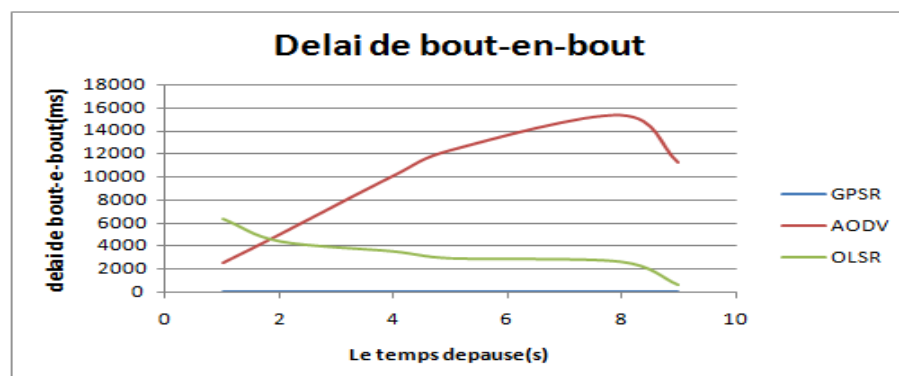


FIG. 3.11 – Délai.

### Nombre de paquets perdus

Les résultats obtenus (figure 3.12) confirment que le GPSR présente moins de perte que le AODV et OLSR.

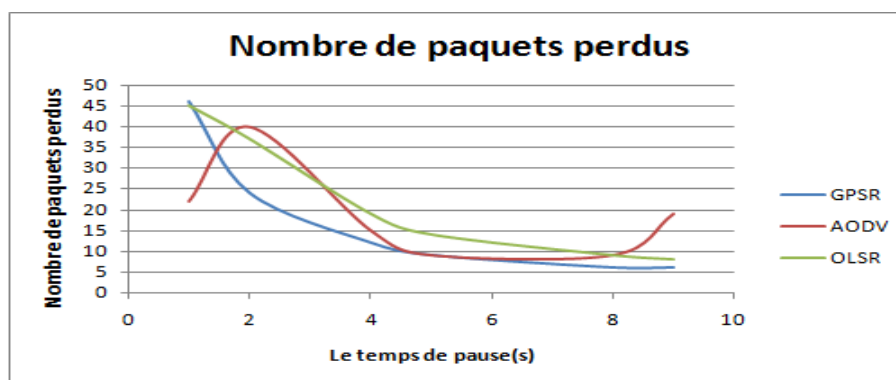


FIG. 3.12 – Nombre de paquets perdus.

#### 3.5.1.3 Troisième scénario

Dans ce scénario, nous proposons de varier le nombre émetteur/récepteur dans le réseau.

### Taux de livraison des paquets

D'après la figure 3.13 la courbe du protocole GPSR prend le dessus à partir de la deuxième application (émetteur=4 et récepteur=5) par rapport aux deux autres courbes d'AODV et OLSR.

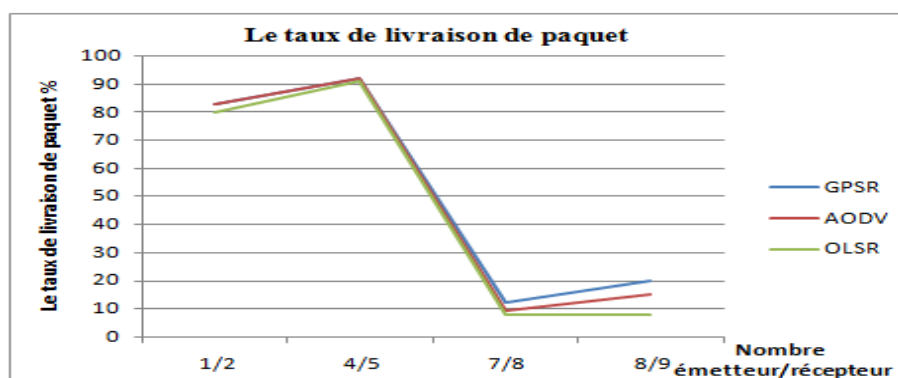


FIG. 3.13 – Taux de livraison de paquets.



## Débit

A travers cette figure(3.14), on remarque que GPSR présente une légère augmentation par rapport aux deux protocoles AODV et OLSR, à partir du nombre (émetteur=4 et récepteur=5), les courbes des trois protocoles diminuent puis augmentent mais toujours la courbe de GPSR se trouve au-dessus des deux autres .

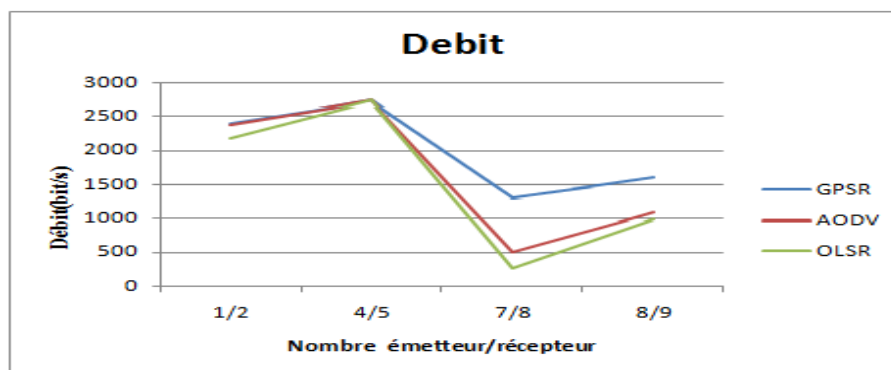


FIG. 3.14 – Débit.

## Délai

On remarque que la courbe de AODV et de OLSR diminuent de 4000 ms jusqu'à 200 ms entre la première application (émetteur=1,récepteur=2) et la deuxième application (émetteur=4, récepteur=5), le AODV augmente tandis que le OLSR se stabilise. Par contre la courbe du GPSR reste stable durant toutes les applications (figure 3.15).

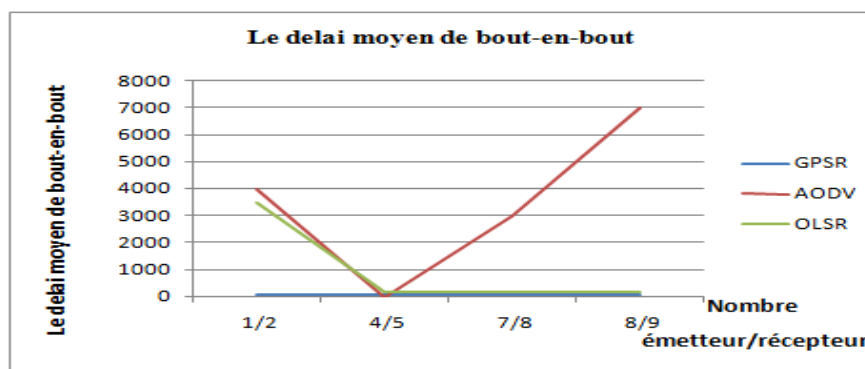


FIG. 3.15 – Délai.

### Nombre de paquets perdus

On constate que GPSR présente des résultats sensiblement meilleur que les protocoles AODV et OLSR (figure 3.16).

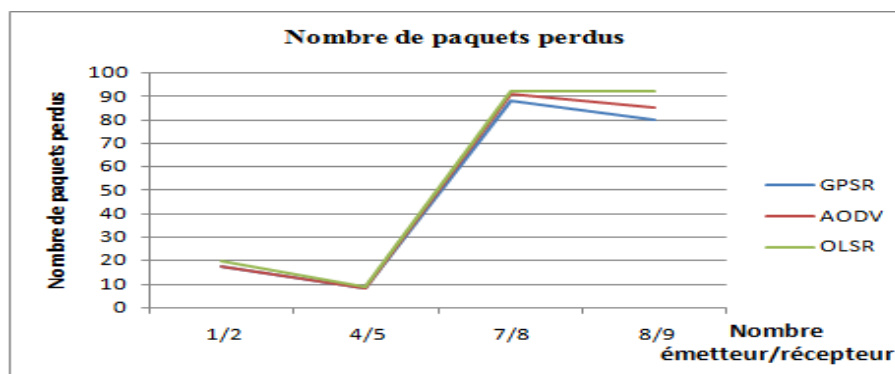


FIG. 3.16 – Nombre de paquets perdus.

## 3.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons évalué quelques protocoles de routage AODV, GPSR et OLSR dans les VAENTs. Nous avons constaté que le protocole GPSR offre de meilleurs résultats en termes de délai moyen de bout-en-bout et en termes de PDR. Cependant, nous avons remarqué que le débit qu'offre le GPSR est relativement faible.

Donc on peut conclure que parmi les trois protocoles étudiés GPSR répond le mieux au besoin des réseaux véhiculaire et particulièrement en environnement urbain qui sont à la base de nos simulations.

## Conclusion générale et perspective

Les réseaux ad hoc de véhicules forment un nouveau type de réseaux issu des réseaux ad hoc mobiles (MANET). Ils se composent d'un nombre de véhicules circulant sur des routes, capables de communiquer entre eux sans une infrastructure fixe.

Le fait que la topologie du réseau soit de type très dynamique rend d'autant plus difficile à conserver les informations sur les nœuds, en effet le routage s'impose avec un rôle très important afin d'acheminer ces informations vers la bonne destination.

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur la simulation des protocoles de routage des réseaux véhiculaires tel que AODV, OLSR et GPSR, en utilisant le simulateur de réseau NS-3 et le simulateur de trafic routier SUMO.

Après avoir calculé le taux de livraison de paquet, le nombre de paquet perdu et le délai moyen de bout en bout, les résultats aux quels nous avons abouti montrent que le protocole de routage GPSR offre des meilleures performances que AODV et OLSR.

Durant notre travail, nous 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 NS-3 et SUMO.

Pour l'avenir, nous envisageons :

Adapter nos simulations à un environnement autoroutier, afin de conclure si ces protocole (OLSR, AODV et GPSR) répondent de la même manière qu'aux environnements urbains.

Apporter une amélioration au protocole AODV en proposons d'améliorer le temps de maintien de route qui est fixé par défaut a 2 second. Utiliser des scénarios plus complexe et encore plus proche de la réalité, avec un passage à l'échelle en utilisant un maximum de nœuds.

Enfin, nous souhaitons que notre memoire apportera une contribution aux étudiants de notre université qui désire s'initier au domaine de la recherche dans les réseaux VANETs.

# Bibliographie

- [1] KA. Ali. Modélisation et étude de performances dans les réseaux vanets. thèse de doctorat. In *Université de Technologie de Belfort-Montbéliard*, 2012.
- [2] H. Badis, I. Gawkedzki, and K. Al Agha. Qos routing in ad hoc networks using qolsr with no need of explicit reservation. In *Vehicular Technology Conference*, volume 4, pages 2654–2658, 2004.
- [3] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz. Sumo—simulation of urban mobility. In *The Third International Conference on Advances in System Simulation, Barcelona, Spain*, 2011.
- [4] D. Bektache. Application et modélisation d’un protocole de communication pour la sécurité routière. thèse de doctorat. In *Université Badji Mokhetar Annaba Algerie*, 2014.
- [5] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies. A survey of mobility models for ad hoc network research. In *Wireless communications and mobile computing*, volume 2, Numéro 5, pages 483–502, 2002.
- [6] T. Clausen and Ph. Jacquet. Rfc 3626 : Optimized link state routing protocol (olsr). In *IETF*, volume 4, pages 1–75, 2003.
- [7] L. Fratta. Prédiction de mouvement pour le routage et le controle d’accès au canal dans des réseaux sans-fil véhiculaires. thèse de doctorat. In *Ecole Nationale Supérieur des Telecommunication de Paris*, 2008.
- [8] J. Harri, F. Filali, and Ch. Bonnet. Mobility models for vehicul ar ad hoc networks : a survey and taxonomy. In *Communications Surveys & Tutorials*, volume 11, Numéro 4, pages 19–41, 2009.
- [9] D. Jiang and L. Delgrossi. Ieee 802.11 p : Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In *Vehicular Technology Conference*, pages 2036–2040, 2008.

- [10] V. Jindal and P. Bedi. Vehicular ad-hoc networks : Introduction, standards, routing protocols and challenges. In *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, volume 13, Numéro 2, page 44, 2016.
- [11] B. Karp and H.T. Kung. Gpsr : Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 243–254, 2000.
- [12] G. Korkmaz, E. Ekici, and F. ozguner. An efficient fully ad-hoc multi-hop broadcast protocol for inter-vehicular communication systems. In *Communications IEEE International Conference*, volume 1, pages 423–428, 2006.
- [13] R. Kumar, M. Dave, et al. A review of various vanet data dissemination protocols. In *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, volume 5, Numéro 3, pages 27–44, 2012.
- [14] X. Lin, R. Lu, Ch. Zhang, H. Zhu, P. Ho, and X. Shen. Security in vehicular ad hoc networks. In *Communications Magazine*, volume 46, Numéro 4, pages 88–95, 2008.
- [15] M. Mabilia, A. Busson, and V. Véque. Analyse du trafic et du routage dans un réseau ad hoc de véhicules. In *Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles-CFIP*, pages 1–12, 2006.
- [16] H. Menouar, M. Lenardi, and F. Filali. Movement prediction-based routing (mopr) concept for position-based routing in vehicular networks. In *Vehicular Technology Conference*, pages 2101–2105, 2007.
- [17] SN. Mohammad, MJ. Ashraf, S. Wasif, S. Iqbal, and N. Javaid. Analysis and modeling of network connectivity in routing protocols for manets and vanets. In *Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), International IEEE Conference*, pages 528–533, 2013.
- [18] Z. Niu, W. Yao, Q. Ni, and Y. Song. Dereq : a qos routing algorithm for multimedia communications in vehicular ad hoc networks. In *Proceedings of the international conference on Wireless communications and mobile computing*, pages 393–398, 2007.
- [19] J. Petit. Surcoût de l'authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires. thèse de doctorat. In *Université Toulouse III-Paul Sabatier*, 2011.
- [20] L.K. Qabajeh, L.M. Kiah, and M.M. Qabajeh. A qualitative comparison of position-based routing protocols for ad-hoc networks. In *IJCSNS*, volume 9, Numéro 2, pages 131–140, 2009.

- [21] A.K. Saha and D.B. Johnson. Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks. In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pages 91–92, 2004.
- [22] J. Santa, A.F. Gomez-Skarmeta, and M. Sanchez-Artigas. Architecture and evaluation of a unified v2v and v2i communication system based on cellular networks. In *Computer Communications*, volume 31, Numéro 12, pages 2850–2861, 2008.
- [23] Y. Toor, P. Muhlethaler, and A. Laouiti. Vehicle ad hoc networks : applications and related technical issues. In *Communications Surveys & Tutorials*, volume 10, Numéro 3, pages 74–88, 2008.
- [24] Q. Xu, R. Segupta, D. Jiang, and D. Chrysler. Design and analysis of highway safety communication protocol in 5.9 ghz dedicated short range communication spectrum. In *Vehicular Technology Conference*, volume 4, pages 2451–2455, 2003.
- [25] S. Zeadally, R. Hunt, Y. Chen, A. Irwin, and A. Hassan. Vehicular ad hoc networks (vanets) : status, results, and challenges. In *Telecommunication Systems*, volume 50, Numéro 4, pages 217–241, 2012.
- [26] J. Zhao and G. Cao. Vadd : Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. In *Vehicular Technology IEEE Transactions*, volume 57, Numéro 3, pages 1910–1922, 2008.

## ANNEXE I : Les résultats de simulation

Nombre de noeud	30	50	100	150
GPSR	15	13	85	81
AODV	12	15	84	79
OLSR	11	9	80	68

TAB. 3.3 – Taux de livraison des paquets (premier scénario).

Nombre de noeud	30	50	100	150
GPSR	2130.3	1948.5	2316.94	2207.96
AODV	1798.8	2698.61	2289.74	2197.75
OLSR	1648.88	1619.16	2180.7	1853.6

TAB. 3.4 – Débit(bit/s)(premier scénario).

Nombre de noeud	30	50	100	150
GPSR	52.5333	5.84561	14.8235	12.3457
AODV	2849	1951	3816	6024
OLSR	72	29	3483	1526

TAB. 3.5 – Délai(ms)(premier scénario).



Nombre de noeud	30	50	100	150
GPSR	85	87	15	19
AODV	88	85	16	21
OLSR	89	91	20	32

TAB. 3.6 – Nombre de paquets perdus (premier scénario).

Temps de pause	1	2	4	8	9
GPSR	45	25	13	6	5
AODV	22	40	13	10	10
OLSR	45	37	20	12	10

TAB. 3.7 – Nombre de paquets perdus (deuxième scénario).

Temps de pause	1	2	4	8	9
GPSR	4551.16	30.66.59	1778.64	971.105	854.09
AODV	6378.47	2453.27	1778.64	930.212	735.979
OLSR	4736.87	2575.93	1655.98	930.216	845.032

TAB. 3.8 – Debit(bit/s) (deuxième scénario).

Temps de pause(s)	1	2	4	8	9
GPSR	19.8148	10.64	8.6092	7.48421	14.6596
AODV	2514	4992	10080	15317	11224
OLSR	6300	4361	3495	2592	602

TAB. 3.9 – Délai(ms)(deuxième scénario).

Temps de pause	1	2	4	8	9
GPSR	55	75	87	94	95
AODV	78	60	87	90	90
OLSR	55	63	80	88	90

TAB. 3.10 – Taux de livraison des paquets (deuxième scénario).

Nombre émetteur/récepteur	1/2	4/5	7/8	8/9
GPSR	83	92	12	20
AODV	83	92	9	15
OLSR	80	91	8	8

TAB. 3.11 – Taux de livraison des paquets(troisième scénario).

Nombre émet- teur/récepteur	1/2	4/5	7/8	8/9
GPSR	2400	2750	1300	1600
AODV	2400	2750	500	1100
OLSR	2200	2750	250	1000

TAB. 3.12 – Debit(bit/s)(troisième scénario).

Nombre émet- teur/récepteur	1/2	4/5	7/8	8/9
GPSR	10	20	87	99
AODV	4000	1	3000	7000
OLSR	3500	200	180	180

TAB. 3.13 – Delai(ms)(troisième scénario).

Nombre émet- teur/récepteur	1/2	4/5	7/8	8/9
GPSR	17	8	88	80
AODV	17	8	91	85
OLSR	20	9	92	92

TAB. 3.14 – Nombre de paquets perdus(troisième scénario).

## ANNEXE II : Script de simulation

---

La fonction received paquet

---

```
void ReceivePacket(Ptr< Socket > socket)
NS_LOG_VNCOND("ReceivedOnepacket")Ptr< Packet > packet;
while(packet = socket-> Recv())
SeqTsHeader seqTsx;
packet-> RemoveHeader(seqTsx); //séparer l'entete SeqTsHeader du paquet
currentSequenceNumber = seqTsx.GetSeq(); // retourne le numéro de séquence
bytesTotal += packet->GetSize(); // taille des donnée du paquet (sans entête)
packetsReceived += 1; // calculer le nombre de paquets reçus
rcv = Simulator::Now().GetMilliseconds(); // temps de reception du paquet en cours
sqhd = seqTsx.GetTs().GetMilliseconds(); // le temps d'envoi du paquet
std::cout << "SeqNo" << currentSequenceNumber << "Temps : " <<
sqhd <<; // vérifier le numéro
de séquence et le temps d'envoi du paquet
delay = delay + (rcv - sqhd); // calcul du delai(le temps de reception- le temps d'envoi)
xx = rcv - senttime; // temps de reception du dernier paquet
-temps de reception du premier paquet
throughput = (bytesTotal * 1000 * 8) / (xx); // débit d'envoi calculé en bit/s
```

---

La fonction génère trafic

---

```
static void GenerateTrafic(Ptr < Socket >socket, uint32_t pktSize, uint32_t
pktCount, Time pktInterval)
    if (pktCount > 0)
        SeqTsHeader seqTs;
        seqTs.SetSeq(pktCount); //car il commence du dernier paquet
        Ptr< Packet > p = Create < Packet >(pktSize - (8 + 4)); // créer un paquet p
        et soustrait 8+4:c'est la taille de l'entete SeqTs
        p-> AddHeader(seqTs); //ajouter l'entête au paquet p
        socket-> Send(p); // la source envoie le paquet p
        NS_LOG_U NCOND ("Envoi du paquet numéro "<< pktCount <<");
        if (pktCount == 100)
            senttime = Simulator : :Now().GetMilliseconds(); //retourne le temps
            d'envoi du premier paquet Simulator : :Schedule(pktInterval,GenerateTrafic,
            socket, pktSize,pktCount-1, pktInterval);
        else
            socket-> Close(); // fin de l'envoi.
```

---

Configuration du canal WIFI

---

```
WifiHelper wifi; YansWifiPhyHelper wifiPhy = YansWifiPhyHelper : :Default();
```

---

configuration du model de propagation

---

```
YansWifiChannelHelper wifiChannel ; wifiChannel.SetPropagationDelay
("ns3 : :ConstantSpeedPropagationDelayModel"); //1e temps
wifiChannel.AddPropagationLoss("ns3 : :TwoRayGroundPropagationLossModel",
"SystemLoss", DoubleValue(1),
"HeightAboveZ", DoubleValue(1.5)); //model de propagation
wifiChannel.AddPropagationLoss("ns3 : :FriisPropagationLossModel",
"MinDistance", DoubleValue(range)); //portée de communication
wifiPhy.SetChannel(wifiChannel.Create()); // creation du canal wifi
```

---

Configuration du protocole mac 802.11p (WAVE)

---

```
NqosWaveMacHelper wifi80211pMac = NqosWaveMacHelper : :Default();
Wifi80211pHelper wifi80211p = Wifi80211pHelper : :Default();
wifi80211p.SetRemoteStationManager("ns3 : :ConstantRateWifiManager",
"DataMode", StringValue(phyMode),
"ControlMode", StringValue(phyMode));
```

---

Définir la mobilité des noeuds Ns2MobilityHelper et le fichier mobility.tcl

---

```
Ns2MobilityHelper ns2 = Ns2MobilityHelper("../NS-3/ns-3.19/scratch/mobility.tcl");
ns2.Install(); // configure le mouvement des noeuds contenu dans le fichier trace
```

---

Configuration du protocole de routage ad-Hoc

---

```
activation de protocole nom-protocoleHelper nom-protocole; InternetStack-
Helper internet; internet.SetRoutingHelper(nom-protocole); internet.Install(c); //
installer la pile protocolaire
```

---

Adressage IP

---

```
Ipv4AddressHelper ipv4;
    NS_LOG_INFO ("Assign IP Addresses.");
    ipv4.SetBase("10.1.0.0", "255.255.0.0"); Ipv4InterfaceContainer i = ipv4.Assign(devices);
//assigner une adresse a chaque noeud. nom-protocole.Set("HelloInterval", Ti-
meValue(Seconds(hello)));
    nom-protocole.Install();
```

## Résumé

VANET (Vehicular Adhoc Networks) est une nouvelle technologie émergente qui intègre les fonctionnalités de la nouvelle génération de réseaux sans fil pour les véhicules.

Le but des réseaux véhiculaire est d'améliorer la sécurité et l'efficacité des transports routiers afin de diminuer les accidents et fournir un environnement confortable aux conducteurs et à leurs passagers.

Les réseaux ad hoc véhiculaires reposent sur des protocoles qui assurent l'échange d'informations et la communication entre les véhicules puisqu'il est évident que l'amélioration de la communication entre les véhicules revient à la détermination de l'efficacité de ces protocoles. Notre but, à travers ce mémoire, est d'évaluer les performances des protocoles de routage GPSR, OLSR et AODV appliqués aux réseaux dans environnement Urbain, en utilisant NS3et SOMU. Pour déterminer le meilleur protocole en termes de taux de livraison de paquet, débit de bout en bout, paquet perdu, débit moyen.

**Mots clés :** VANET, AODV, OLSR, GPSR, Simulation, NS3, SUMO, eWorld, JOSM...

## Abstract

VANET ( Adhoc Vehicular Networks) is a new emerging technology that incorporates the functionality of the new generation of wireless networks for vehicles.

The purpose of the vehicular networks is to improve the security, and the efficiency of the road transport to decrease the accidents and to provide better conditions for drivers and passengers.

Vehicular ad hoc networks based on protocols that ensure information exchange and communication between vehicles since it is obvious that improved communication between the vehicle returns to the determination of the effectiveness of these protocols.

Our objective in this work is to evaluate routing protocol performances AODV, OLSR and GPSR applied on VANET network in specified environment of the city, in order to choose the best convenient one regarding the reception rate of packets, the end to end delay ,lost packets and medium debit.

**Key words :** VANET, AODV, OLSR, GPSR, Simulation, NS3, SUMO, eWorld, JOSM...