

Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique
Département de Mathématiques et informatique
Filière : Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique

Option : **Réseaux et Systèmes**

Présenté par :

HAMMAD Ibrahim

THÈME :

**Étude comparative entre les protocoles de
routage dans un réseau VANET**

Soutenu le : 01/07/2024

Devant le jury composé de :

Chahinez Meriem Bentaouza	MCB	Université de Mostaganem	Présidente
Farida Hassain	MAA	Université de Mostaganem	Examinatrice
Bahnes Nacéra	MCB	Université de Mostaganem	Encadrante

Résumé

VANET (Vehicular Ad-hoc Networks) est une nouvelle technologie émergente qui intègre les fonctionnalités de la nouvelle génération de réseaux sans fil pour les véhicules. Le principal objectif de ce type de réseau est de faire circuler l'information de la manière la plus efficace possible entre les véhicules ; entre les infrastructures et les véhicules afin d'améliorer la sécurité routière et d'apporter le confort aux conducteurs et aux passagers. Les réseaux VANET reposent sur des protocoles qui assurent l'échange d'informations entre les véhicules qui sont caractérisés par une forte mobilité ; l'amélioration de la communication revient à la détermination de l'efficacité de ces protocoles. Dans ce mémoire, nous étudions différents protocoles de routage dans le réseau VANET. Pour enrichir notre travail, nous comparons deux protocoles de deux familles différentes, GPSR et AODV, sur la base de deux indices de performance telle que le taux de livraison des paquets (PDR) et le Débit. La simulation a été faite en utilisant le simulateur OMNET++. Les résultats montrent que les performances du protocole AODV sont moins bonnes par rapport au protocole GPSR.

Mots clés : VANET, Protocole de Routage, OMNET++, SUMO, Veins.

REMERCIEMENTS

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrante, **Madame Bahnes Nacera**, pour son accompagnement, ses conseils éclairés et son soutien indéfectible tout au long de ce projet. Son expertise, sa disponibilité et sa patience ont été des atouts précieux qui m'ont permis de mener à bien ce travail.*

Sa rigueur scientifique et ses encouragements constants ont été essentiels dans l'avancement de mes recherches et dans la réalisation de ce mémoire. Elle a su me guider avec bienveillance, me poussant à donner le meilleur de moi-même tout en respectant mes idées et mes choix.

Je lui suis particulièrement reconnaissant pour les nombreuses heures consacrées à la relecture de mes travaux, pour ses critiques constructives et pour les discussions enrichissantes qui ont permis d'affiner et de clarifier mes réflexions.

Merci infiniment.

Table des matières

Résumé.....	2
Table des matières.....	4
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	6
Liste des abréviations.....	7
Introduction générale.....	11
Chapitre I : Réseaux VANETs.....	13
I.1 Introduction.....	13
I.2 Les réseaux Ad Hoc :.....	13
I.2.1. Définition d'un réseau Ad Hoc.....	13
I.2.2 Caractéristiques des réseaux mobiles Ad-hoc :.....	14
I.3. Réseaux Véhiculaires Ad-hoc :.....	14
I.3.1 Définition d'un réseau VANET :.....	14
I.3.2 Historique :.....	15
I.3.3 Station de bord de la route (RSU) :.....	16
I.3.4. Architecture de communication des VANETs :.....	17
I.3.5 Caractéristiques des réseaux VANETs :.....	17
I.3.6 Modes de transmission dans les réseaux VANETs :.....	18
I.3.7 Applications des VANETs :.....	19
I.4. Conclusion.....	19
Chapitre II : Les protocoles de routage dans les réseaux VANETs.....	20
II.1 Introduction :.....	20
II.2 Les protocoles de routage dans les réseaux VANETs :.....	20
II.2.1 Les protocoles basés sur la topologie :.....	22
II.2.1.1 Les protocoles réactifs :.....	22
II.2.1.2 Les protocoles proactifs:.....	24
II.2.1.3 Protocoles hybrides :.....	25
II.2.2 Les protocoles de routage avec localisation géographique :.....	27
II.3 Conclusion :.....	31
Chapitre III : Simulation.....	32
III.1 Introduction.....	32
III.2 Architecture OMNET++.....	32
III.3 Veins (Vehicles in Network Simulation).....	33
III.4 SUMO (Simulation of Urban Mobility).....	33
III.5 Les étapes d'installation de l'IDE OMNeT++/Veins :.....	33
III.6 Métriques de simulation.....	34
III.7 Paramètres de simulation.....	35
III.8 Résultats de simulation.....	35
III.9 Conclusion.....	36
Conclusion Générale.....	37
Bibliographie.....	39

Liste des figures

Figure N°	Titre de la figure	Page
Figure I.1	Mode avec infrastructure	4
Figure I.2	Le mode sans infrastructure (IBSS)	5
Figure I.3	Un exemple de réseau Ad hoc	6
Figure I.4	Architecture générale d'un réseau de capteur	7
Figure I.5	Un exemple d'un réseau VANET	9
Figure I.6	Les éléments constituant le véhicule intelligent	10
Figure I.7	Communication Basé sur les RSU	11
Figure I.8	Communication véhicule à véhicule	13
Figure I.9	Communication véhicule à station de base	13
Figure I.10	Communication hybride	14
Figure I.11	Les différents types de mode de transmission dans lesVANET	16
Figure II.1	Classification des protocoles de routage dans les VANETs	26
Figure II.2	Procédure de découverte de route dans AODV	29
Figure II.3	Sélection des MPRs dans OLSR	31
Figure II.4	Un exemple de zone dans le protocole ZRP	33
Figure II.5	Exemple de GreedyForwarding	35
Figure II.6	PerimeterForwarding ou règle de la main droite	36
Figure II.7	La sélection des intersections dans GyTAR	38
Figure II.8	Echanges de données entre deux intersections	39
Figure II.9	Réseaux véhiculaire basés sur les groupes	40
Figure II.10	Sélection de relais dans IVG	42

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre du tableau	Page
Tableau II.1	Comparaison entre les deux classes proactive et réactive	22
Tableau III.1	Paramètre de simulation	23
Tableau III.2	Taux de Livraison des Paquets	27
Tableau III.3	Débit (Throughput)	27

Liste des abréviations

Abréviation	Expression Complète
STI	Système de transport intelligent
VANET	Vehicular Ad-Hoc Network
BSS	Basic Service Set
ESS	Extended Service Set
IBSS	Independent Basic Service Set
MANET	Mobile Ad hoc Network
RCSF	Réseau de capteurs sans fil
WSN	Wireless Sensor Network
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
GPS	Global Positioning System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environment
DSRC	Dedicated Short Range Communications
V2V	Vehicle to Vehicle
V2I	Vehicle to Infrastructure
RSU	Road Side Units
OBU	On-Board Unit
Wi-Fi	Wireless Fidelity
EDGE	Enhanced Data for GSM Evolution
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
LTE	Long Term Evolution
GMR	GEOMobile Radio Interface
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-SH	DVB-Satellite services to Handhelds
DSR	Dynamic Source Routing
AODV	Ad-Hoc On-demand Distance Vector
RREQ	Route Request message

RREP	Route Reply message
RERR	Route Error message
GSR	Global State Routing
OLSR	Optimized Link State Protocol
MPR	Multi-Point Relaying
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector
ZRP	Zone Routing Protocol
DTN	Delay Tolerant Network
VADD	Vehicle-Assisted Data Delivery
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GyTAR	Greedy Traffic Aware Routing protocol
GLS	Grid Location Service
CBLR	Cluster Based Location Routing
CBDRP	Cluster-Based Directional Routing Protocol
IVG	Inter-Vehicle Geocast
DRG	Distributed Robust Geocast
UMB	Urban Multihop Broadcast Protocol
DVCAST	Distributed vehicular broadcast protocol
SUMO	Simulator of Urban Mobility
OMNET++	Objectif Modular Network Test-Bed
Veine	Vehicles in Network Simulator
NAM	Network Animator
UDP	User Datagram Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
CBR	Constant Bit Rate
FIFO	First In First Out

Introduction générale

Les réseaux sans fil ont connu un essor spectaculaire ces dernières années et s'imposent désormais de manière indéniable. Leur émergence, combinée aux avancées des technologies de la communication et de l'information, a conduit à la création des Systèmes de Transport Intelligents (STI), dont l'objectif est de rendre le système routier plus efficace.

Actuellement, les véhicules sont équipés de sources d'intelligence interactives grâce à des équipements informatiques embarqués et à des stations intégrées le long des routes et autoroutes. Ces véhicules peuvent ainsi communiquer entre eux ainsi qu'avec des dispositifs fixes ou mobiles. En exploitant leurs nouvelles capacités de communication, la création d'un réseau dédié améliore non seulement le confort à bord mais aussi la sécurité routière.

Les réseaux ad-hoc véhiculaires (en anglais, VANET : Vehicular Ad- hoc Network) permettent le partage, de manière collaborative, de différents types de données entre les véhicules. Le principal objectif de ce type de réseau est d'améliorer la sécurité routière afin de diminuer les accidents, d'apporter aux conducteurs et aux passagers quelques applications du confort et de divertissement.

En effet, le routage est un élément essentiel dans un réseau VANET, il constitue un grand défi à relever pour sa conception en raison de la forte mobilité des véhicules, de la diversité spatio-temporelle de la densité du trafic et de la propagation des ondes radio en environnement extérieur défavorable à l'établissement des communications sans fil. Différents protocoles de routage ont été conçus, font l'objet d'un grand effort de tests, d'évaluations et d'améliorations.

Dans le cadre de ce mémoire, l'évaluation de certains aspects de performances de protocoles de routage sera abordée par des simulations sous OMNET++.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons une vue d'ensemble sur les réseaux véhiculaires Ad-Hoc (VANET), leurs caractéristiques et leurs applications.
- Dans le deuxième chapitre, nous exposons un état de l'art sur les protocoles qui ont été proposés pour assurer le routage dans les réseaux VANET. Nous décrivons leurs fonctionnements et les stratégies utilisées pour l'acheminement des données entre les différents nœuds.
- Dans le troisième chapitre, nous allons présentons une comparaison entre deux protocoles des différentes familles, le protocole GPSR basé sur la position et le protocole AODV qui est, à son tour, appartient à la famille des protocoles réactifs, utilisant le modèle de mobilité pour évaluer les performances des deux protocoles.

Enfin, nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale, en concluant le travail réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'études.

Chapitre I : Réseaux VANETs

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord la mise en réseau Ad-hoc, ainsi que les réseaux VANET que ne sont qu'une application des réseaux Ad-hoc mobiles (MANET), différents types de services de ces réseaux, les différentes caractéristiques et les applications ainsi que les supports de communication (la communication avec chacun des composants V2I et modes V2V).

I.2 Les réseaux Ad Hoc :

I.2.1. Définition d'un réseau Ad Hoc

Un réseau sans infrastructure est également appelé réseau Ad-hoc. Dans ce mode de réseau la notion de site fixé ou points d'accès n'existe pas. Toutes les unités du réseau se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil afin de construire un réseau point à point. Ainsi chaque unité joue en même temps le rôle de client et celui du point d'accès [1]. Si les nœuds du réseau sont mobiles, le réseau est dit réseau mobile Ad-hoc (en anglais, MANeT : Mobile Ad-hoc Network).

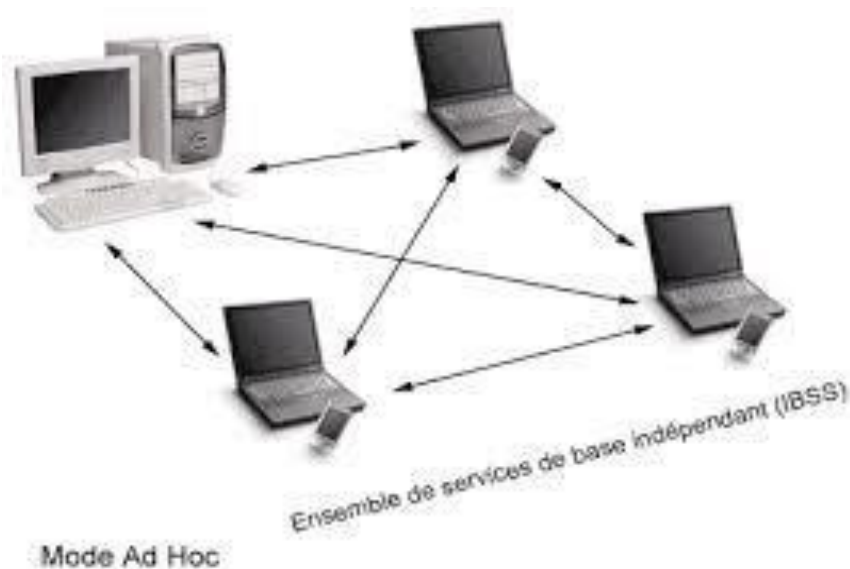


Figure I.1 : Réseaux Ad-hoc [3].

I.2.2 Caractéristiques des réseaux mobiles Ad-hoc :

Les réseaux mobiles Ad-hoc présentent plusieurs caractéristiques :

- **Topologie dynamique (Mobilité) :** Les unités mobiles du réseau se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Par conséquent, la topologie du réseau peut changer, à des instants imprévisibles, d'une manière rapide et aléatoire [2].
- **Absence d'infrastructure :** Les nœuds d'un réseau Ad-Hoc travaillent en mode P2P (peer to peer) totalement distribué, ce qui leur permet de se déplacer librement. Ces nœuds agissent en tant que routeurs pour relayer des communications ou générer leurs propres données.
- **Vulnérabilité (Sécurité physique limitée):** Les réseaux sans fil sont de nature plus sensible aux problèmes de sécurité. Le principal problème pour les réseaux Ad-hoc ne se situe pas au niveau du support physique mais principalement dans le fait que tous les nœuds sont équivalents et potentiellement nécessaires au fonctionnement du réseau.
- **Liaisons sans fil (Bande passante limitée) :** Les technologies de communication sans fil sont indispensables à la mise en place d'un réseau Ad-hoc. La bande passante varie d'un type de réseau Ad-hoc à un autre. Par exemple, les performances attendues dans les réseaux de capteurs ne seront pas les mêmes que celles attendues dans les réseaux Ad-hoc d'entreprise [5].
- **Autonomie des nœuds (Contrainte d'énergie) :** La consommation d'énergie est un enjeu majeur pour les équipements fonctionnant sur une alimentation électrique autonome. Ces dispositifs intègrent des modes de gestion d'énergie, et il est crucial que les protocoles des réseaux Ad-hoc tiennent compte de cette problématique.

I.3. Réseaux Véhiculaires Ad-hoc :

I.3.1 Définition d'un réseau VANET :

Un réseau véhiculaire (VANET) est une forme de réseau Ad-hoc mobile conçu pour permettre les communications entre les véhicules voisins ainsi qu'entre les véhicules et les équipements fixes à proximité, tels que les feux de signalisation, les capteurs routiers, et les relais 3G/4G. Les alertes de collision, les avertissements de signalisation routière et la visualisation en temps réel du trafic fournissent au conducteur les informations essentielles pour choisir le meilleur itinéraire. Un exemple de réseau VANET est illustré dans la figure 1.2.



Figure I.2: Un exemple d'un réseau VANET [4].

I.3.2 Historique :

C'est au début des années 80 que les premières études, portant sur des communications entre véhicules et infrastructure, ont été menées au Japon à travers le projet JSK (Japonaise pour Association of Electronic Technology for Automobile Traffic and Driving) [7, 8].

La recherche sur ces réseaux a vraiment commencé à croître au début des années 2000, avec la création des projets tels que «Car Talk 2000» en Europe qui tente de résoudre des problèmes liés à la sécurité ou au confort des passagers par l'intermédiaire de communications inter-véhiculaires [4], «Advanced Safety Vehicle 3» au Japon, et «Vehicle Safety Communication» aux États-Unis [8].

Depuis 2002, avec le développement rapide de technologies sans fil, le nombre de publications dans le domaine des réseaux de véhicules a rapidement augmenté, divers workshops ont été créés, comme ACM International Workshop on Vehicular Ad-Hoc Network en 2004 et International Workshop on Intelligent Transportation en 2003.

En 2009, l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), a publié le standard 802.11p qui définit l'accès sans fil dans les réseaux véhiculaires mobiles (Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE)) [7, 8].

Très vite, les chercheurs se sont intéressés à un nouveau type d'adressage et de routage des paquets de données. Plutôt que d'utiliser la méthode IP, il a été mis en place une méthode géographique appelée **GeoCast**, basée sur les standards DSRC et IEEE 802.11, pour fournir une communication multi-sauts sans fil, et ce, sans l'aide d'infrastructure (par comparaison avec le

Global Positioning System (GPS) qui nécessite un réseau de satellite.

GeoCast permet ainsi d'étendre les communications de courte portée, fournies par DSRC, à des communications multi-sauts [6]. Geocast a d'abord été conçu pour les MANETs, mais a très vite été étendu à d'autres réseaux tels que les VANETs, les réseaux de capteur sans fil (RCSF, en anglais WSN : Wireless Sensor Networks), ou les réseaux maillés (en anglais, Mesh Networks). Ce type d'adressage est en effet bien adapté aux réseaux mobiles dynamiques, ayant des changements de topologies fréquents, avec ou sans infrastructure, et supportant des connexions intermittentes [8].

I.3.3 Station de bord de la route (RSU) :

Les stations de bord de la route, ou unités d'infrastructure (en anglais RSU : Road Side Units), sont des stations de base permettant d'établir une communication entre l'infrastructure et les véhicules (I2V) ainsi qu'entre les véhicules et l'infrastructure (V2I). L'objectif du système coopératif créé est d'assurer la continuité des messages d'information d'un véhicule à l'autre, en passant par les unités routières. Ces entités installées au bord des routes diffusent aux véhicules des informations sur l'état du trafic et les conditions météorologiques. Elles peuvent également servir de points d'accès au réseau, connectant les véhicules à d'autres réseaux d'infrastructure tels qu'Internet.

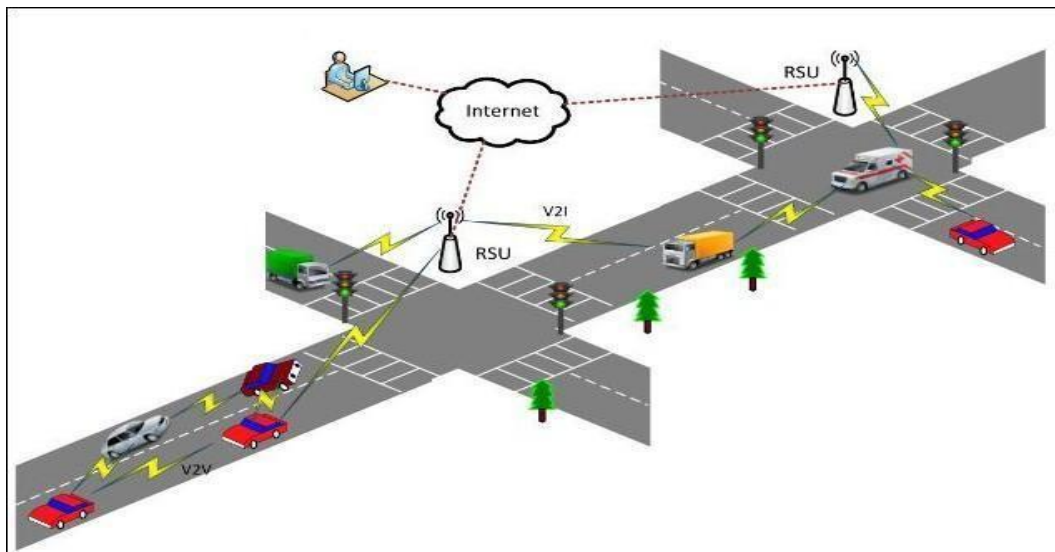


Figure I.3 : Communication basée sur les RSU.

I.3.4. Architecture de communication des VANETs :

Pour concevoir une architecture de communication de réseaux de type VANETs, nous abordons trois modes essentiels :

- **Communication inter-véhicule (V2V)**
- **Communication entre véhicules et les stations de bord de la route (V2I)**
- **La communication hybride:** La combinaison de ces deux types de communications, V2V et V2I, permet d'obtenir une communication hybride très intéressante [10].

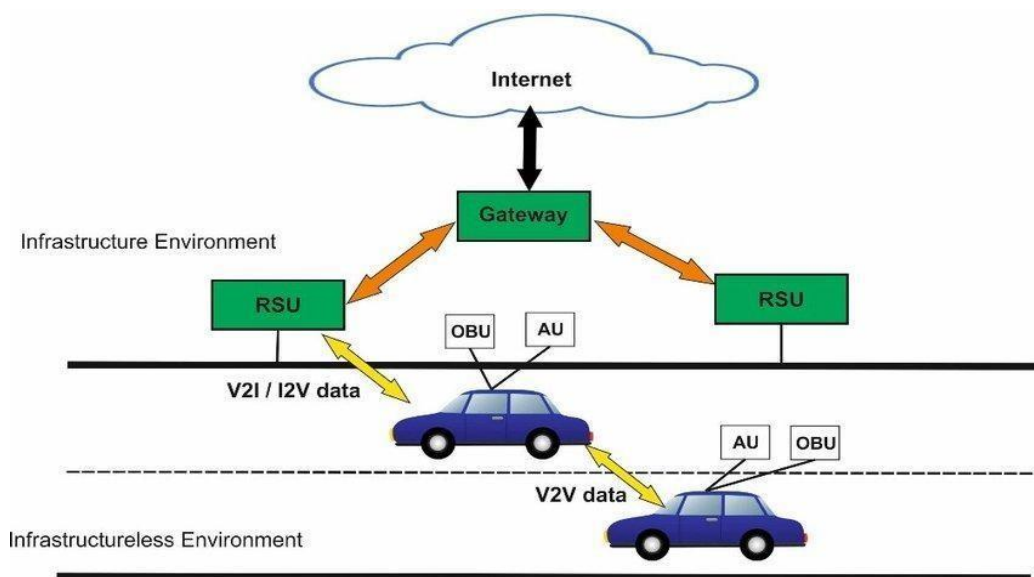


Figure I.4: Communication hybride [10].

I.3.5 Caractéristiques des réseaux VANETs :

Les réseaux véhiculaires ont des caractéristiques spécifiques qui les distinguent de réseaux MANET.

➤ **Pas de problème d'énergie ou de stockage :** Les équipements du réseau VANET disposent suffisamment d'énergie pour alimenter les divers éléments électroniques d'une voiture intelligente. Ainsi, les nœuds dans un VANET sont censés avoir une grande capacité de traitement et de stockage des données, contrairement aux réseaux Ad-hoc mobiles, où la contrainte énergétique représente un défi majeur pour les chercheurs.

➤ **Forte mobilité :** L'impact de la mobilité sur la connectivité du réseau demeure l'une des difficultés majeures des réseaux véhiculaires. Ainsi, si deux véhicules se déplacent en sens inverse à des vitesses élevées, le temps d'interconnexion peut être très court.

➤ **Environnements de communication très variés** : Les réseaux véhiculaires peuvent fonctionner dans trois types d'environnement : autoroutier, urbain et rural. Ils doivent être capables de passer d'un environnement urbain, caractérisé par de nombreux obstacles à la propagation des signaux, à un environnement rural ou autoroutier, qui présente des caractéristiques différentes. Cela contraste avec les autres réseaux sans fil, qui opèrent généralement dans un environnement spécifique en fonction de leur conception et de leur utilisation.

➤ **Localisation**: Actuellement, la majorité des véhicules de nouveau modèle possède un système de géolocalisation. Le système peut obtenir la position géographique du véhicule, ainsi que sa direction, s'il est en mouvement.

➤ **Faible connectivité du réseau** : La densité d'un réseau de véhicules est très variable. Une forte densité de véhicules permet au réseau d'être connexe. A l'inverse, une faible densité de véhicules a pour conséquence un taux élevé de ruptures de communications, un délai d'acheminement plus long si le véhicule conserve le paquet, voire une impossibilité pour deux véhicules de communiquer [3].

I.3.6 Modes de transmission dans les réseaux VANETs :

Les échanges de données entre un nœud et ses voisins dans un réseau véhiculaire peuvent être transmis suivant quatre façons : mode Unicast (Point-à-point), mode Broadcast (diffusion), mode multicast (multipoint) et mode Géocast.

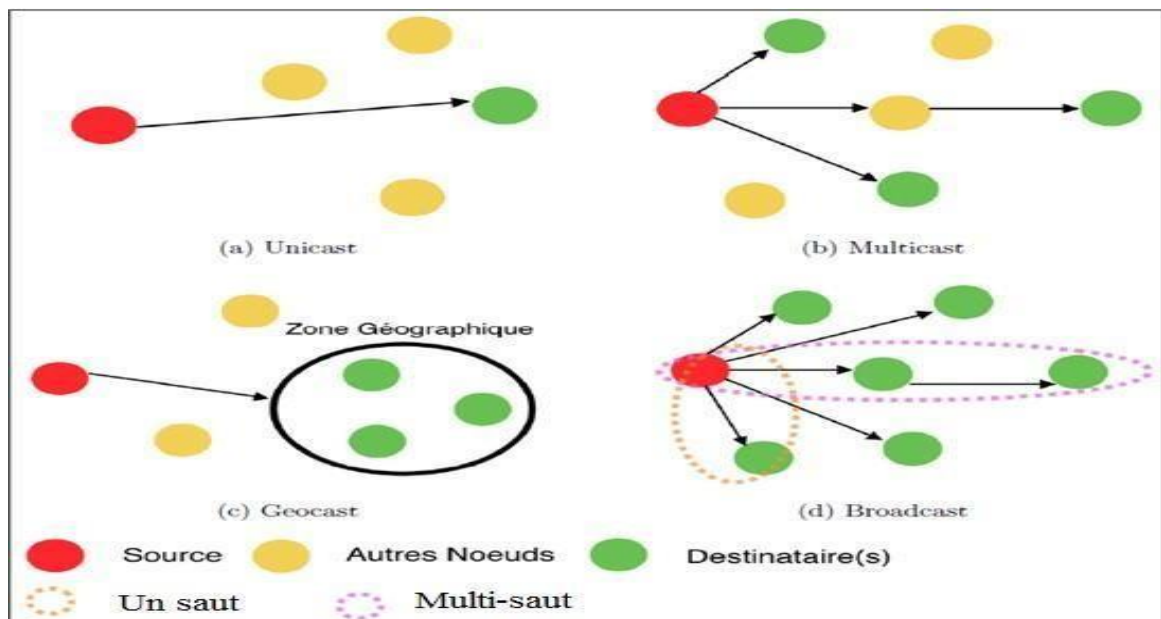


Figure I.5: Les différents types de modes de transmission dans les VANETs.

I.3.7 Applications des VANETs :

Elles peuvent être classifiées en trois grandes catégories :

➤ **Application pour la prévention et la sécurité routière :** Ces applications, essentielles pour améliorer la sécurité des déplacements et prévenir les accidents routiers, consistent à informer les véhicules de situations dangereuses. Elles reposent sur la diffusion, périodique ou ponctuelle, de messages informatifs permettant aux conducteurs de connaître l'état de la route et des véhicules voisins. Elles incluent des alertes en cas de violations des feux de circulation et des notifications en cas de freinage d'urgence.

➤ **Application pour la gestion du trafic routier :** Les applications de gestion de trafic se concentrent sur l'amélioration des conditions de circulation en cherchant à équilibrer le flux de véhicules sur les routes. Leur objectif est d'utiliser efficacement la capacité des routes et des carrefours afin de réduire les embouteillages, les risques d'accidents, la durée des trajets et la consommation d'énergie.

➤ **Application pour le confort :** En plus des services de sécurité et de gestion du trafic routier, les réseaux véhiculaires contribuent également à améliorer le confort des usagers en rendant les voyages plus agréables. Grâce à l'accès à Internet, les conducteurs et les passagers bénéficient de plusieurs services tels que les jeux/discussions distribués, la gestion des parkings, la messagerie, le chat, le téléchargement de fichiers, etc.

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents concepts de base pour la description des réseaux VANETs. Nous sommes commencés par la présentation des définitions globales de réseaux Ad-hoc, en suite les réseaux MANETs et les réseaux VANETs.

Nous avons cité aussi les caractéristiques, les applications et modes de communication et de transmission des VANETs.

Chapitre II : Les protocoles de routage dans les réseaux VANETs

II.1 Introduction :

VANET (Vehicular Ad-hoc Network) est un réseau sans infrastructure fixe, composé d'un ensemble de véhicules appelés nœuds mobiles. Ces nœuds établissent une communication dite à 1-saut lorsqu'ils sont à portée radio l'un de l'autre. Une communication dite multi-sauts peut également être établie entre deux nœuds distants (nœuds ne se trouvant pas dans une même zone de transmission), grâce à la mise en place d'un chemin de routage reliant le nœud source au nœud destinataire et impliquant un ou plusieurs nœuds intermédiaires, également appelés nœuds relais [15].

La fonction de routage est l'une des plus importantes dans les réseaux filaires ou sans fil. Le routage facilite la communication entre des nœuds distants en établissant et maintenant des chemins optimaux entre les nœuds d'un réseau [4].

Le routage dans les réseaux VANET est un problème très difficile à gérer et un axe de recherche important. 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.

II.2 Les protocoles de routage dans les réseaux VANETs :

Les réseaux VANET représentent une spécificité des réseaux MANET où le routage joue un rôle très important dans l'acheminement des informations, que ce soit dans les communications V2I ou plus essentiellement dans les communications V2V qui se basent sur le multi-saut pour rejoindre un véhicule qui n'est pas dans la portée du véhicule émetteur.

Les services fournis dans les réseaux VANET supportent le routage unicast et multicast. Le routage unicast est généralement utilisé dans les applications de confort citées dans le premier chapitre, tandis que le routage multicast est utilisé dans les services liés à la sécurité routière et à la gestion du trafic, tels que les messages d'alerte pour les accidents et l'avertissement des collisions.

La difficulté du routage dans les réseaux VANET est due à l'instabilité du réseau causée

par la forte mobilité des nœuds, la fragmentation du réseau ainsi que les caractéristiques de l'environnement, comme la présence d'obstacles [8]. On distingue principalement deux catégories de protocoles de routage dans les VANETs (Voir figure II.1) :

- Les protocoles qui se basent sur la topologie.
- Les protocoles qui se basent sur la position géographique.

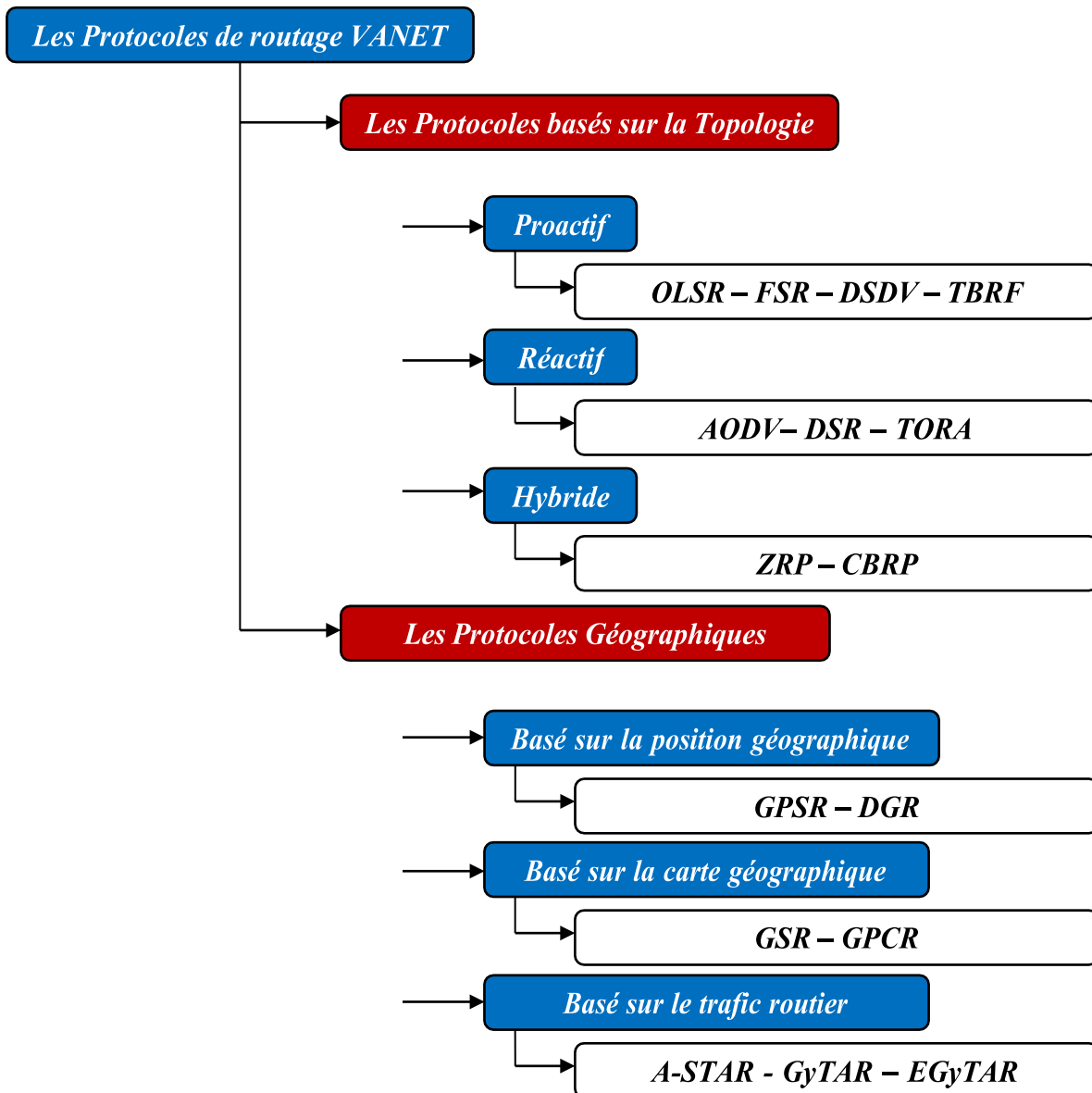


Figure II.1 : Classification des protocoles de routage dans les VANETs[13]

II.2.1 Les protocoles basés sur la topologie :

Cette première classe regroupe les protocoles Ad-hoc basés sur la topologie du réseau, où les nœuds n'ont aucune connaissance de leur position géographique ni de celle des autres nœuds. Pour que ces protocoles puissent trouver les chemins pour router les paquets, ils utilisent l'envoi de messages soit de manière proactive, soit de manière réactive, ou utilisent les deux techniques [8]. Ces trois types de protocoles sont détaillés dans ce qui suit.

II.2.1.1 Les protocoles réactifs :

Dans un protocole réactif, appelé également protocole à la demande (en anglais, On-Demand Driven), une table de routage est construite lorsqu'un nœud en fait la demande. Il ne connaît pas la topologie du réseau. 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, c'est-à-dire qu'il détermine le chemin à prendre pour accéder à un nœud du réseau lorsqu'on lui en fait la demande [18].

□ **Le protocole DSR (Dynamic Source Routing)** : Ce protocole se caractérise par l'utilisation du routage par la source, ce qui signifie que la source connaît l'itinéraire complet, saut par saut, jusqu'à la destination. Les paquets de données portent l'itinéraire de la source dans l'en-tête du paquet [19]. DSR est composé de deux processus : la découverte de route (Route Discovery) et la maintenance de route (Route Maintenance).

- **Découverte de routes** permet de chercher les routes nécessaires à la demande lorsqu'on ne possède pas de route vers le destinataire, le nœud mobile déclenche une découverte de routes en diffusant un paquet de requête de route (Route Request) contenant l'adresse de la destination recherchée, une liste dans laquelle les adresses des nœuds traversés sont conservées ainsi qu'un identifiant de requête. En recevant une requête de route, un nœud vérifie qu'il ne l'a pas déjà traitée grâce à l'identifiant de requête et en vérifiant que son adresse n'est pas déjà dans le chemin [20]. Il va alors s'enregistrer dans le chemin et la propager à tous ses voisins. Lorsque la destination de la requête est atteinte, elle renvoie un paquet de réponse de route (Route Reply) vers la source en utilisant le chemin construit lors de la propagation de la requête.

- **Maintenance de routes** : Si n'importe quel lien sur un itinéraire actif est coupé, un paquet de signalisation d'erreur (RERR : Route ERRor) s'est produit. Ce dernier est envoyé vers

la source, ainsi tous les nœuds intermédiaires recevant ce paquet, consultent ses caches, à la recherche des itinéraires qui contiennent le lien coupé. Si de tels itinéraires sont trouvés, ils seront supprimés. Une nouvelle procédure de découverte d'itinéraire doit être lancée par la source, si cet itinéraire est toujours nécessaire et aucun itinéraire alternatif n'est trouvé dans la cache [19].

➤ **Le protocole AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector)** : est un protocole de routage pour les réseaux mobiles Ad-hoc (MANETs). Il est conçu pour permettre la communication entre les nœuds dans un réseau sans infrastructure fixe, en créant des routes à la demande [18]. Lorsqu'un nœud 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 nœud source lance la procédure de découverte de route en diffusant en broadcast un paquet RREQ (**Route Request message**) à la recherche d'un chemin vers le destinataire (Voir la figure II.2).

A la réception de ce paquet, le nœud répond par un paquet RREP (**Route Reply message**) s'il est lui-même le destinataire ou s'il possède dans sa table une route vers la destination. Dans le cas contraire, c'est-à-dire, si la table de routage ne contient pas de route vers le destinataire, le nœud rediffuse le RREQ. Une fois la route trouvée, le nœud source transmet les paquets de données en transitant de proche en proche et chaque nœud détermine le prochain relais à partir de sa table de routage. En cas de rupture de route, le nœud intermédiaire envoie un paquet RERR (**Route Error message**) pour informer la source qui décide ou non de recommencer l'envoi du paquet [9].

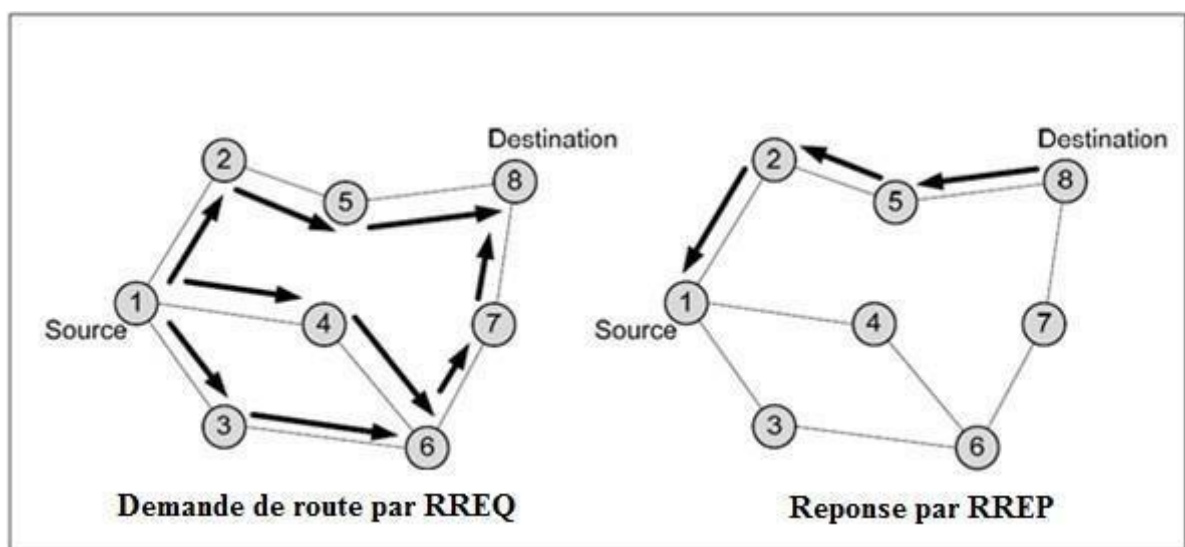


Figure II.2 : Procédure de découverte de route dans AODV.

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

II.2.1.2 Les protocoles proactifs:

Un protocole proactif est un protocole qui construit les tables de routage avant que la demande ne soit effectuée. Il identifie en fait à chaque instant la topologie du réseau, c'est-à-dire qu'il maintient les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles au niveau de chaque nœud du réseau avec l'échange continu des messages de mise à jour des chemins. L'avantage principal de ce type de routage est la disponibilité immédiate des routes ainsi que le gain de temps lors d'une demande de routage. Cependant, le problème réside dans la saturation du réseau avec les messages de contrôle et de mise à jour des tables de routage, entraînant ainsi une saturation de la mémoire.

➤ **Le protocole GSR (Global State Routing)** : est un protocole proactif basé sur l'état des liens (en anglais, LS : Link State), et les améliore en évitant le mécanisme inefficace d'inondation des messages de routage. GSR utilise une vue globale de la topologie du réseau. Le protocole utilise aussi une méthode, appelée la méthode de dissémination [15].

GSR est un protocole de routage géographique qui combine le routage basé sur la localisation avec le routage basé sur la topologie des routes pour construire une connaissance adaptée à l'environnement urbain [18]. Le principe de GSR est que le véhicule source désirant envoyer des données vers un véhicule cible, calcule le chemin de routage le plus court à partir des informations géographiques d'une carte routière et en utilisant les algorithmes de recherche du plus court chemin, par exemple « Dijkstra. » A partir du chemin de routage calculé, le véhicule source sélectionne ensuite une séquence d'intersections par lesquelles le paquet de données doit transiter afin d'atteindre le véhicule destinataire. Cette séquence d'intersections est constituée d'un ensemble de points géographiques fixe de passage du paquet de données pour envoyer les messages d'une intersection à une autre.

➤ **Le protocole OLSR (Optimized Link State Protocol)** [16] est un protocole de routage proactif développé dans le cadre du projet Hypercom de l'Institut National de la Recherche en Informatique et Automatique (INRIA) de France et proposé en tant que RFC (Request For Comment) expérimentale à l'IETF (Internet Engineering Task Force). Il est considéré comme une optimisation du protocole à état des liens filaires pour les réseaux mobiles Ad-Hoc. Il a pour

objectif de fournir des routes de plus court chemin vers une destination en termes de nombre de sauts en utilisant l'algorithme de Dijkstra. Son innovation réside dans sa façon d'économiser les ressources radio lors des diffusions, ceci est réalisé grâce à l'utilisation de la technique des relais multipoints (MPR : Multi-Point Relaying). Suivant le schéma illustré dans la figure III.3, le principe est que chaque nœud construit un sous ensemble appelé MPR, parmi ses voisins, qui permet d'atteindre tous ses voisins à deux sauts, les nœuds de cet ensemble servent à acheminer et lisent et traitent les paquets mais ne les retransmettent pas. Le processus de construction des routes dans OLSR passe par les étapes suivantes [14] :

- Découverte du voisinage.
- Sélection des relais multipoints.
- Annonce des MPRs et diffusion des voisinages.
- Calcul des tables de routage.

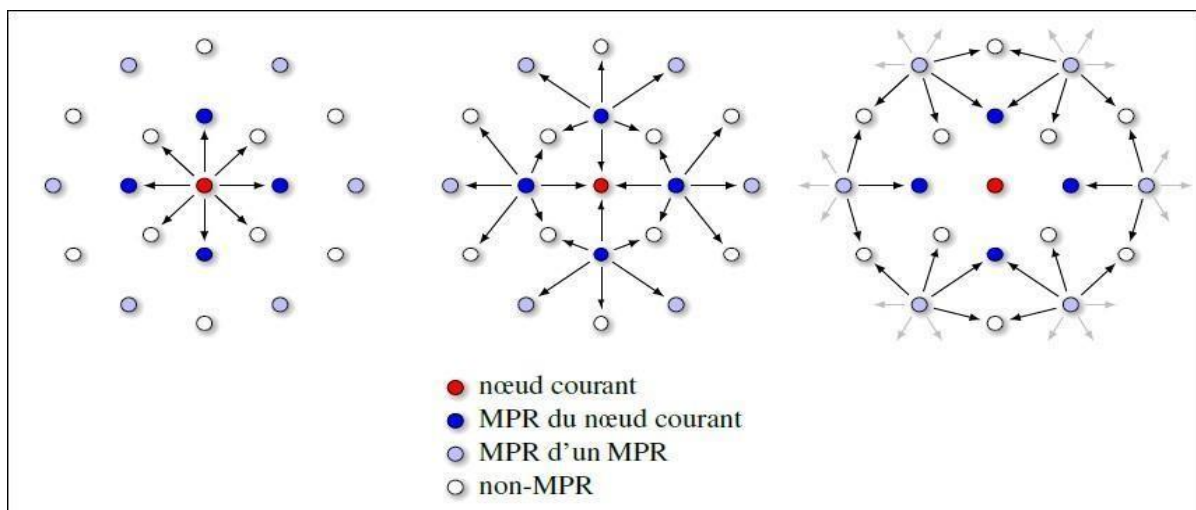


Figure II.3 : Sélection des MPRs dans OLSR.

II.2.1.3 Protocoles hybrides :

Un protocole hybride est une combinaison des deux approches proactive et réactive. Il utilise un protocole proactif pour apprendre le proche voisin ainsi il dispose des routes immédiatement dans le voisinage au-delà de cette zone prédéfinie. Le protocole hybride fait appel aux techniques du protocole réactif pour chercher des routes. L'avantage des protocoles hybrides est le fait qu'ils s'adaptent mieux aux réseaux de grandes tailles, Cependant, ce type de protocole cumule les inconvénients des protocoles proactifs et ceux des protocoles réactifs, tels que l'échange de paquets de contrôle réguliers et inondation de l'ensemble de réseau pour chercher une route vers un nœud éloigné.

➤ **Le protocole ZRP (Zone Routing Protocol)** est un protocole qui combine les deux approches (proactive et réactive). Le protocole ZRP divise le réseau en différentes zones. Pour chaque nœud, il définit une zone de routage exprimée en nombre de sauts maximal σ . Ainsi, la zone de routage d'un nœud inclut tous les nœuds qui sont à une distance au maximum de σ sauts. Les nœuds qui sont exactement à σ sauts sont appelés nœuds périphériques [23]. Le routage au sein d'une zone se fait de manière proactive, via le protocole *IARP (IntraZone Routing Protocol)* et le routage vers les nœuds extérieurs de la zone se fait de façon réactive, grâce au protocole *IERP (Interzone Routing Protocol)* [22]. En plus de ces deux protocoles, ZRP utilise le protocole *BRP (Broadcast Routing Protocol)*, dont le but est de construire la liste des nœuds périphériques d'une zone et les routes permettant de les atteindre, en utilisant les données de la topologie fournies par le protocole IARP. La procédure de recherche des chemins s'effectue comme suit :

- Si le nœud destinataire se trouve dans la zone du nœud source, le chemin est supposé déjà connu. Sinon, une demande d'établissement de route RREQ est initiée vers tous les nœuds périphériques. Ces derniers vérifient si la destination existe dans leurs zones.
- Dans ce cas, la source recevra alors un paquet RREP contenant le chemin menant à la destination [22]. Dans le cas contraire, les nœuds périphériques diffusent la requête à leurs propres nœuds périphériques qui, à leur tour, effectuent le même traitement. Un exemple de zone dans le protocole ZRP est donné dans la figure II.4.

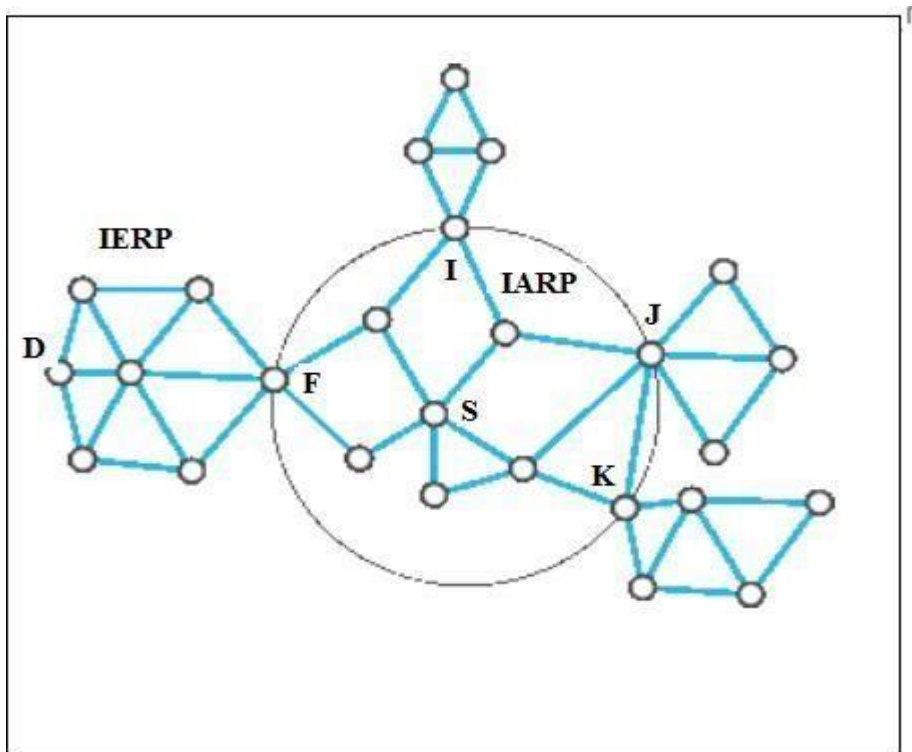


Figure II.4 : Un exemple de zone dans le protocole ZRP.

Le tableau ci-dessus présente une comparaison entre les deux classes proactive et réactive, en montrant les inconvénients et les avantages de chaque sous classe :

Routage Proactif		Routage Réactif	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
-La topologie de réseau est connue de tous les mobiles. -Les routes sont disponibles immédiatement.	-Il faut diffuser régulièrement des informations sur les changements de la topologie de réseau.	-Les mobiles ne conservent pratiquement -Aucune information sur la topologie globale du réseau: seules les informations sur les routes actives sont stockées.	
-Les protocoles proactifs disposent en permanence d'une route pour chaque destination dans le réseau.	-Un volume de signalisations important.	-Les protocoles réactifs génèrent à priori un volume plus faible de signalisations.	-Les protocoles réactifs engendrent un délai lors de la construction (ou de la reconstruction) des routes et produisent plus difficilement des routes optimales.

Tableau II. 1 Comparaison les protocoles de routage proactives et réactives.

II.2.2 Les protocoles de routage avec localisation géographique :

Les protocoles de routage géographique (basés sur la position) utilisent des coordonnées géographiques (par exemple, fournies par un système de géolocalisation tel que le GPS afin de trouver un chemin vers la destination. Chaque nœud source inclut l'identifiant et la position de la destination dans l'entête de tout paquet à envoyer, les nœuds recevant ce paquet utilisent les informations géographiques incluses dans ce dernier et celles disponibles dans leurs tables de routage pour retransmettre le paquet et répètent le même mécanisme jusqu'à ce que celui-ci atteigne la destination. Le fait que ni les tables de routage, ni les activités de découverte de route ne sont nécessaires rend le routage géographique très attractif pour les réseaux dynamiques, tels que les réseaux véhiculaires.

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

Le routage géographique se divise en trois catégories les réseaux non-tolérants au délai (en

anglais, non-DTN : non-Delay Tolerant Network), les réseaux tolérants au délai (en anglais, DTN : Delay Tolerant Network) et les réseaux hybrides [24].

➤ **Les protocoles géographiques tolérant aux délais (DTN) :** ce type de protocoles DTN prend en considération la déconnectivité [21]. Si aucune route complète n'existe à un instant donné entre deux nœuds, les paquets sont mis en mémoire jusqu'à la prochaine disponibilité; ou on peut également faire transiter un message dans le réseau de proche en proche entre les nœuds accessibles dans l'espoir que l'un d'entre eux sera à un moment donné à la portée du destinataire[25].

Le protocole VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery) est un protocole de routage qui prend en considération le contexte des réseaux véhiculaires 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 (vitesse maximale, densité moyenne), pour estimer le délai mis par un paquet pour parcourir un tel segment. Par conséquent, les paquets seront acheminés au long d'un chemin ayant le plus faible délai de bout en bout [26].

Les chercheurs proposent des variantes de VADD, qui déterminent quel lien garantit le délai de livraison de données le plus faible. Le choix du prochain lien est basé sur la localisation dans la première variante (Location VADD), et sur la direction dans l'autre variante (Direction VADD) [27].

➤ **Les protocoles géographiques non tolérant aux délais (Non-DTN) :** Les protocoles de routage géographiques de type non-DTN ne prennent pas en considération la connectivité intermittente et ne sont pratiques que pour les VANET très denses [28].

Le protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) est conçu pour les réseaux véhiculaires exploite la correspondance entre la position géographique et la connectivité dans un réseau sans fil afin de prendre des décisions de transfert de paquets [19]. Un nœud choisit le prochain relais en fonction des informations de position qu'il reçoit périodiquement de ces voisins, et de la destination (messages « *Beacon* » contenant l'adresse du nœud et sa position (x, y)). Sa particularité consiste à récupérer les informations des véhicules voisins par un équipement de positionnement GPS, si à l'extérieur ou par d'autre moyen comme les stations de base dans le cas des tunnels. La stratégie de transmission combine une stratégie d'acheminement à vide (en anglais, *Greedy Forwarding*) et une stratégie d'acheminement périmétrique (en anglais, *Perimeter Forwarding*) (voir les figures II.5 et II.6). La deuxième stratégie est utilisée dans les régions où la première méthode ne peut pas être appliquée [20].

- **GreedyForwarding** : Pour transférer le paquet reçu, un nœud peut prendre une décision optimale et locale pour choisir le prochain nœud. Le nœud suivant est toujours le voisin le plus proche géographiquement de la destination. Cette technique est répétée de manière récursive jusqu'à ce que la destination soit atteinte.

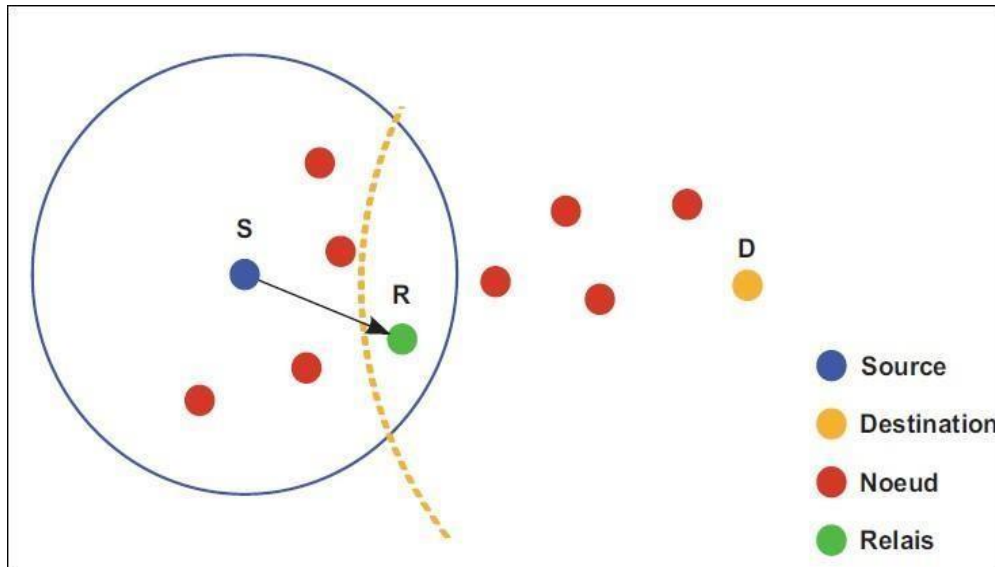


Figure II.5 : Exemple de Greedy Forwarding.

- **PerimeterForwarding** : Parfois, le nœud source se trouve plus proche de la destination, il est le maximum local dans son entourage par rapport à la destination finale qui reste inaccessible en un seul saut. Le nœud est, dans ce cas, face à un "trou". Pour pallier ce problème, la transmission de périmètre est utilisée pour router les paquets autour du trou. Ces paquets se déplacent, parcourant le chemin dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par rapport au segment [Source-Destination] en partant du nœud source jusqu'au nœud le plus proche de la destination [14] [29].

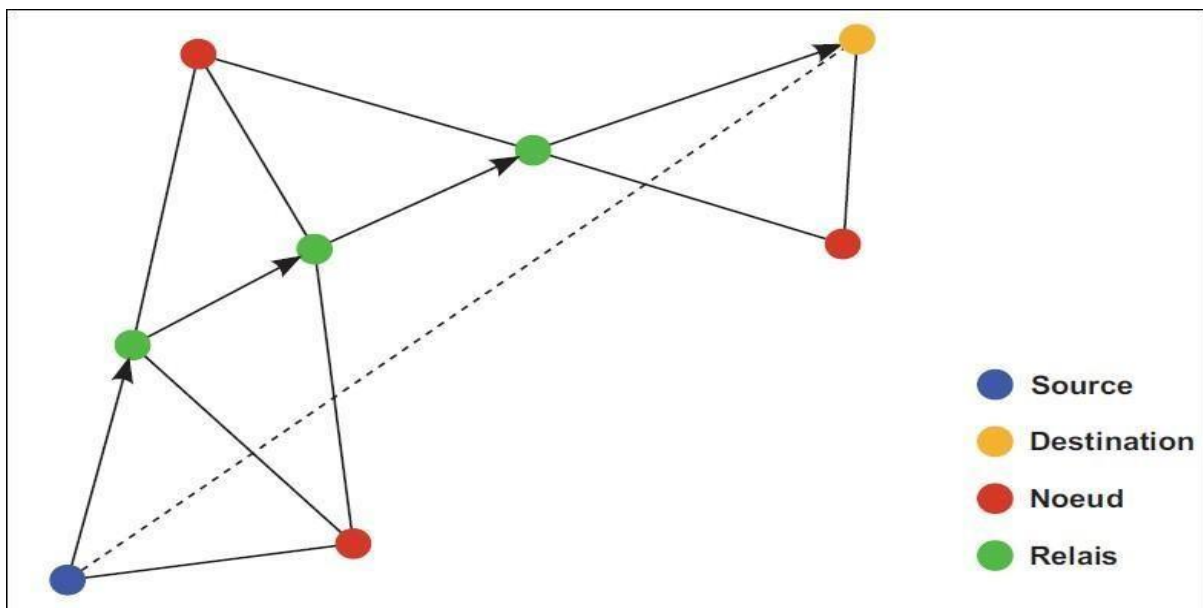


Figure II.6 : Perimeter Forwarding ou règle de la main droite.

➤ **Les protocoles géographiques Hybride** : Les protocoles de routage non-DTN et DTN sont combiné pour exploiter la connectivité partielle du réseau.

- *Le protocole GéoDTN+NAV (Geographic DTN Routing with Navigator Prediction for Urban Vehicular Environments)* est un protocole qui inclut trois modes d'acheminement de données (le mode Greedy, le mode Perimeter et le mode DTN). En mode Greedy, un paquet est transféré vers la destination en choisissant un voisin le plus proche à la destination parmi tous les voisins. Cependant, en raison des obstacles, le paquet peut arriver à un maximum local où il n'y a pas de voisin plus près de la destination que lui-même. Dans ce cas, le mode périmètre est appliqué. L'hypothèse selon laquelle le réseau est connecté peut ne pas toujours être vraie. En raison des caractéristiques mobiles de VANET, il est courant que le réseau soit déconnecté ou partitionné. Les deux modes Greedy et périmètre ne sont pas suffisants dans VANET. Par conséquent, ils présentent le troisième mode : DTN (Delay Tolerant Network) qui peut fournir des paquets même si le réseau est déconnecté ou partitionné (il peut passer du mode Non- DTN au mode DTN) [6] [11].

Il existe une autre sous classe de protocoles de routage (réactif ou proactif) qui sont basés sur le regroupement des nœuds, c'est *les protocoles de routage basés sur les clusters*. Dans ce type des protocoles de routage, les véhicules (ou les nœuds mobiles) qui sont à proximité des autres forment un cluster, et dans chaque groupe a un CH (Cluster Head) qui est désigné comme un chef de groupe. La formation de groupes et la sélection du chef de groupe sont des processus déterminants [12]. Comme montré dans la figure II.7, chaque chef de groupe est responsable de la gestion des nœuds au sein d'un même groupe, mais également de la gestion entre les autres.

La communication diffère toutefois dans ces deux cas. La communication entre les nœuds d'un même groupe s'effectue par des liens directs entre eux, tandis que la communication entre les groupes s'effectue par le biais des chefs de groupe [17] [28].

A titre d'exemple, *CBLR (Cluster Based Location Routing)* est un protocole de routage réactif basé sur le regroupement des nœuds. Chaque chef de groupe stocke une table de routage contenant les adresses et les localisations géographiques des nœuds de son propre groupe et des nœuds passerelles [17], en plus de maintenir une table de routage des groupes voisins.

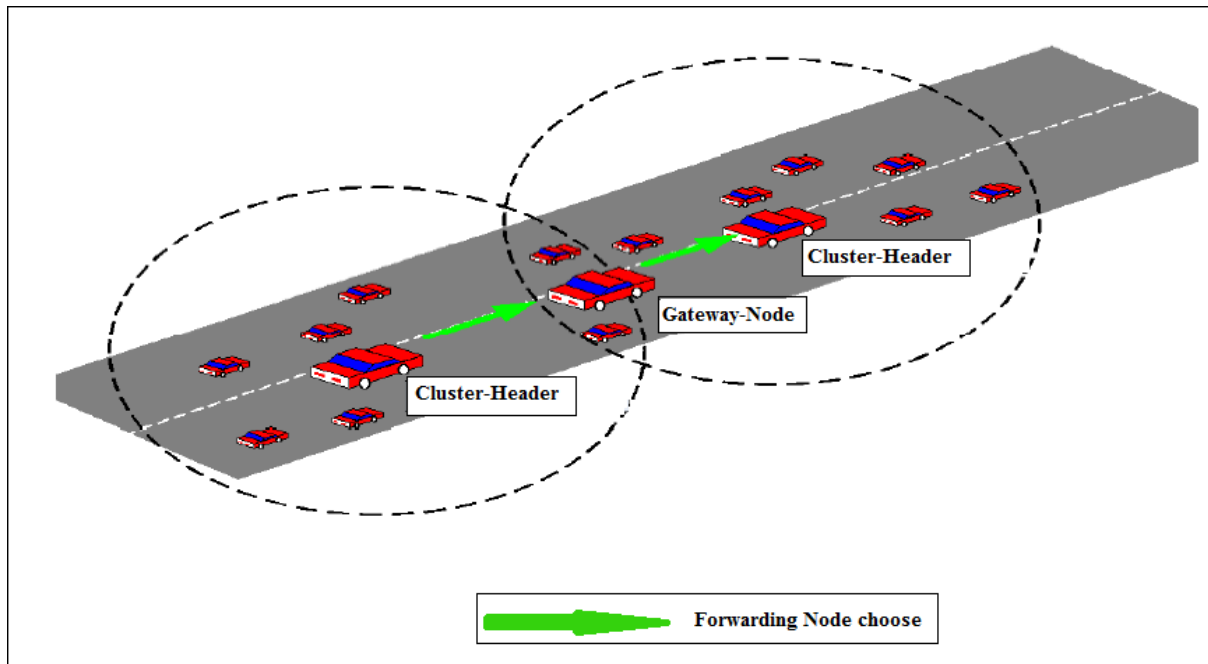


Figure II.7 : Réseaux véhiculaires basés sur les clusters.

Lorsqu'une source veut envoyer des données à une destination, le chef de groupe vérifie d'abord si la destination est dans le même groupe ou non. Si celle-ci est dans le même groupe, il envoie le paquet à la plus proche voisine de la destination ; Sinon, la source stocke le paquet de données dans son tampon. Le CBLR est adapté aux réseaux à haute mobilité, puisqu'il met à jour la localisation de la source et de la destination à chaque fois avant de commencer la transmission de données [17]. On diffuse à son tour le message. Ce mécanisme est appelé mécanisme d'inondation [15].

II.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le routage dans les réseaux Ad-hoc, VANET et sa difficulté. Nous avons cité aussi les types de routage les plus adaptés pour les réseaux véhiculaires; il s'agit de routage géographique et enfin nous avons présenté quelques protocoles utilisés dans les réseaux VANETs pour bien comprendre leurs modes de fonctionnement et combler éventuellement leurs limites.

Dans le chapitre suivant, nous avons choisir le simulateur OMNET++ avec VeINS et SUMO pour simuler et évoluer les performances des protocoles de routage.

Chapitre III : Simulation

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous analysons et comparons les performances des protocoles (AODV et GPSR) de deux familles différentes, réactifs et proactifs. Pour ce faire, nous avons utilisé trois simulateurs : **OMNET++** (version 6.0.2), **VEINS** (version 5.2) et **SUMO** (version 1.9).

OMNET++ est un environnement de simulation modulaire à base de composants, open source, qui a été initialement développé dans le cadre d'un projet d'étude de l'université de Budapest en 1992[30].

Depuis lors, il a été amélioré au fil des années et est utilisé principalement dans le domaine des réseaux de communication, mais peut également être appliqué à d'autres domaines tels que les systèmes informatiques, les réseaux de files d'attente, les architectures matérielles et les processus d'affaires. OMNET++ est écrit en C++ et fournit une architecture générique et flexible pour la simulation de systèmes complexes [30].

III.2 OMNET++

OMNET++ est reconnu pour sa facilité d'apprentissage et d'intégration de nouveaux modules ainsi que pour la modification de ceux déjà implémentés. L'architecture du modèle OMNET++ est composée de plusieurs modules imbriqués de manière hiérarchique, comme illustré dans la figure ci-dessous :

- Le module système : Il occupe la position la plus élevée dans la hiérarchie et est chargé de la gestion globale du modèle de simulation. Il prend en charge des tâches telles que l'initialisation de la simulation, la gestion du temps, la planification des événements et la coordination entre les modules.

- Modules simples (feuilles) : Ce sont des modules individuels programmés en C++ qui encapsulent le comportement spécifique d'une entité réelle du système. Chaque module simple est représenté par un fichier ".cc" et un fichier ".h" correspondants.

- Modules composés : Ils sont formés par la combinaison d'un ou plusieurs modules simples ou modules composés interconnectés entre eux. Les paramètres, les ports et les modules

internes de chaque module sont spécifiés dans un fichier ".ned". Les modules composés permettent de construire une structure plus complexe et de représenter les interactions entre les différents modules du système.

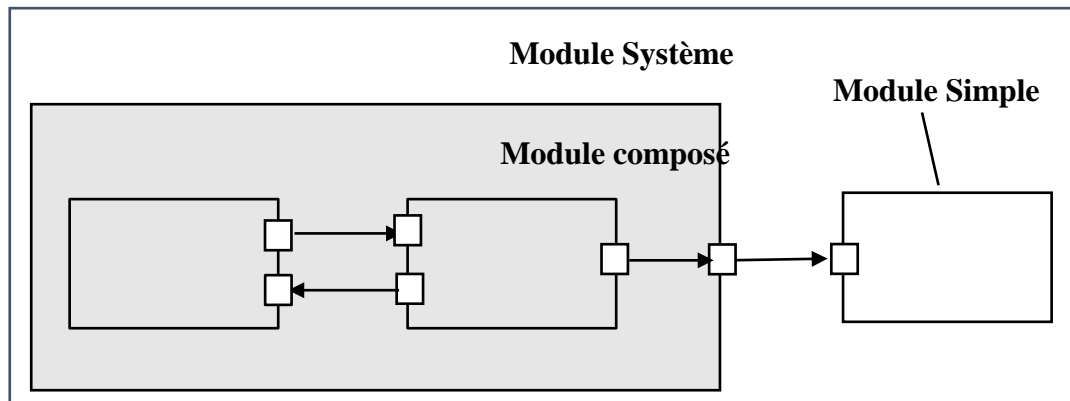


Figure III.1 Architecture modulaire Omnet++ [30]

III.3 Veins (Vehicles in Network Simulation)

Il permet de simuler et d'évaluer des protocoles et des applications de communication véhiculaire dans un environnement réaliste, en tenant compte des caractéristiques complexes des réseaux véhiculaires telles qu'une mobilité élevée, une bande passante limitée et une connectivité intermittente [31].

III.4 SUMO (Simulation of Urban Mobility)

Il offre la possibilité de modéliser les systèmes de circulation, tels que les véhicules conventionnels, les transports en commun, la traversée des piétons, les tunnels, les zones ferroviaires. SUMO intègre également une gamme d'outils pour la gestion des itinéraires, la visualisation et la numérisation des cartes géographiques [32].

III.5 Les étapes d'installation de l'IDE OMNeT++/Veins :

1. Accédez au répertoire OMNeT++.
2. Recherchez le fichier **Mingwenv.cmd** et faire double-clic dessus pour le lancer, ce qui ouvrira une console.
3. Entrez la commande suivante : ". /**configure**" et attendez que la configuration soit terminée.
4. Ensuite, entrez la commande suivante : "**make**" et attendez la fin de la compilation.

5. Tapez la commande "**omnetpp**" pour démarrer le simulateur OMNeT++.

6. Importer le package Veins téléchargé.

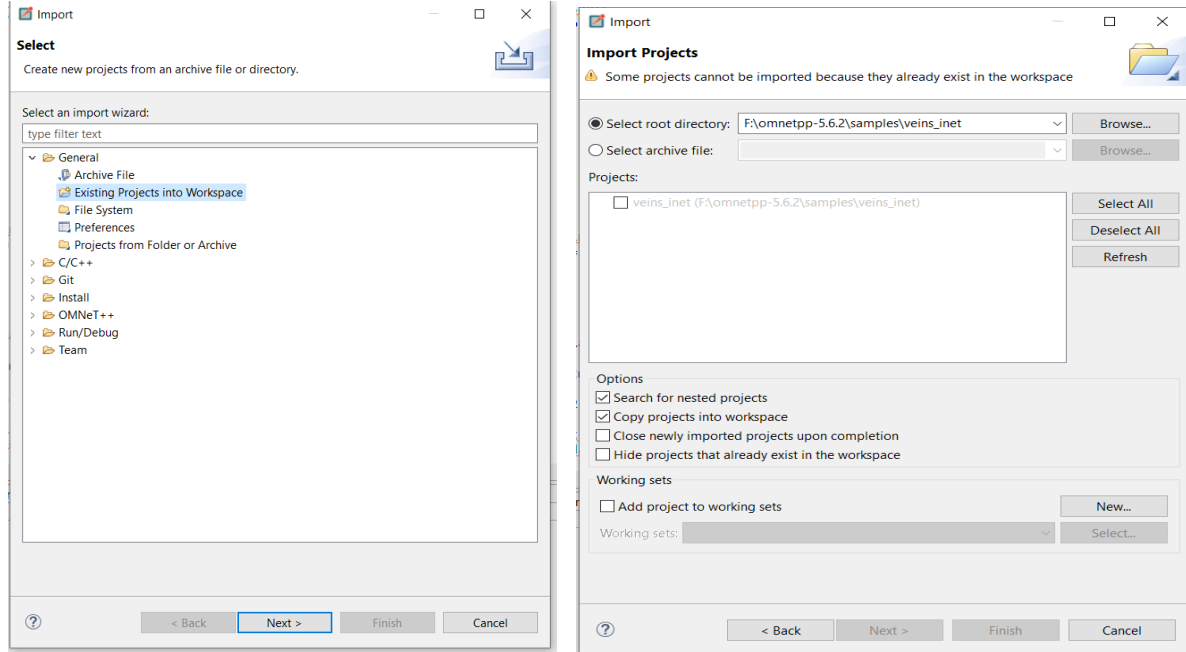


Figure III.2 Importation de package Veins

Afin de permettre la simulation, il est nécessaire d'exécuter simultanément SUMO et OMNeT++. C'est pourquoi VeINS est livré avec un petit script Python qui établit une connexion TCP proxy entre OMNeT++ et SUMO. Ce script lance une nouvelle instance de la simulation SUMO pour chaque connexion OMNeT. Ainsi, pour effectuer cette opération, on utilise la commande suivante dans l'invité de commande :

```
/c:/jjjjjjjj/omnetpp-6.0.2$ C:/jjjjjjjj/omnetpp-6.0.2/samples/veins/sumo-launchd.py -vv -c C:/sumo-1.19.0/bin/sumo.gui.exe
WARNING: the sumo-launchd.py script is deprecated in favor of bin/veins_launchd. Redirecting.
WARNING: the sumo-launchd.py script is deprecated in favor of bin/veins_launchd. Redirecting.
Logging to C:/Users/3d-info/AppData/Local/Temp/sumo-launchd.log
Listening on port 9999
```

Figure III.3 Commande pour lancer une instance SUMO

III.6 Métriques de simulation

Packet Delivery Ratio (PDR) : le nombre de paquets qui ont été livrés avec succès à destination.

$$PDR = \frac{\text{Nombre de paquets reçus}}{\text{Nombre de paquets envoyés}} \times 100\%$$

Débit (Throughput) : Quantité de données reçues correctement par unité de temps.

$$\text{Débit} = \frac{\text{Nombre de paquets reçus}}{\text{Temps}}$$

III.7 Paramètres de simulation

Nous avons fait la simulation en utilisant OMNET++V.5.6.2 avec InetV.4.2.5, Pour notre travail, nous avons utilisé les paramètres de simulation et de configuration présentées dans le tableau suivant :

Paramètres	Valeurs
Temps de simulation	{ 600s }
Zone de simulation	2500m * 2500m
Nombre de véhicules	{ 100, 300 }
Vitesse maximum des véhicules	(20, 40, 60, 80, 100) km/h
Couche physique	IEEE802.11p
Intervalle de Beacon	1 s
Type de paquet	UDP
Protocole de routage	GPSR, AODV

Tableau III.1 Paramètres de simulation

III.8 Résultats de simulation

Dans cette section, nous allons présenter les résultats obtenus à travers les simulations des scénarios sous le simulateur OMNET++. Une comparaison entre les deux protocoles de routage (AODV, GPSR) a été faite en termes de taux de livraison de paquets et le débit.

Les tableaux III.2 et III.3 exposent respectivement le PDR et le débit des simulations des scénarios de 100 et 300 véhicules avec le protocole AODV ou GPSR.

Scénario	AODV(%)	GPSR(%)
Faible densité (100 véhicules)	55,47	88,29
Haute densité (300 véhicules)	37,98	48,75

Tableau III.2 Taux de Livraison des paquets (Packet Delivery Ratio, PDR)

Scénario	AODV(Mbps)	GPSR(Mbps)
Faible densité (100 véhicules)	5,1	12,3
Haute densité (300véhicules)	10,13	13,7

Tableau III. 3 Débit (Throughput)

Le protocole GPSR montre un débit supérieur par rapport au protocole AODV, particulièrement dans des scénarios de densité moyenne et élevée. Cela est dû à l'efficacité du routage géographique de GPSR qui permet des chemins plus directs entre les sources et les destinations. Contrairement au protocole AODV, le protocole GPSR assure un PDR élevé surtout en cas de réseau de faible densité.

III.9 Conclusion

En conclusion, le choix du protocole de routage pour les VANETs dépend fortement des caractéristiques du réseau, notamment la densité des véhicules et le changement de topologie dû à la mobilité des véhicules. GPSR est globalement meilleur par rapport au protocole AODV dans des environnements très dynamiques et à haute densité, grâce à son routage géographique efficace.

Cependant, AODV reste une option viable pour des réseaux à plus faible densité où la simplicité et l'efficacité du protocole peuvent suffire.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons exploré et comparé deux protocoles de routage de familles distinctes dans le contexte des réseaux VANET : GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) et AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector). Notre analyse a été centrée sur deux indices de performance cruciaux : le taux de livraison des paquets (PDR) et le débit, afin de déterminer lequel des deux protocoles offre de meilleures performances dans un environnement de réseau Ad-hoc véhiculaire.

Les simulations ont été réalisées en utilisant le simulateur OMNET++, un outil puissant en termes de flexibilité, modularité, large éventail de fonctionnalités, support de bibliothèques et de frameworks spécialisés, Outils de visualisation et de débogage et extensibilité pour la modélisation et la simulation de réseaux. Les résultats obtenus montrent que le protocole GPSR surpasse AODV en termes de taux de livraison des paquets et de débit. Plus précisément, GPSR a démontré une capacité supérieure à maintenir une livraison fiable des paquets et à maximiser le débit dans les scénarios simulés.

Les performances améliorées de GPSR peuvent être attribuées à son utilisation de l'information géographique pour le routage, ce qui permet une prise de décision rapide et efficace basée sur la localisation des nœuds. Cette approche permet de réduire les délais de routage et d'augmenter l'efficacité globale du réseau. En revanche, bien qu'AODV utilise un mécanisme de découverte de routes à la demande, il peut être limité par les délais associés à la découverte et à l'établissement des routes, surtout dans des environnements à haute mobilité comme les VANET.

En conclusion, la sélection du protocole de routage approprié pour les réseaux VANET doit être soigneusement alignée sur les exigences spécifiques de l'application et les conditions particulières du réseau. Le protocole GPSR a démontré des performances supérieures en termes de taux de livraison des paquets (PDR) et de débit, ce qui en fait une option robuste pour les scénarios analysés dans cette étude.

Cependant, pour formuler des recommandations plus exhaustives et optimales pour le déploiement de réseaux VANET, il est essentiel de procéder à une évaluation comparative des autres protocoles de routage. De plus, l'exploration de divers scénarios de mobilité et de densité de réseau pourrait fournir des perspectives supplémentaires et enrichir les directives de mise en œuvre pour des réseaux VANET encore plus efficaces et fiables.

Bibliographie

- [1] Jonathan Petit « *Sur coût de l'authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires* », Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse 2011.
- [2] Boussad AIT-SALEM, « *Sécurisation des Réseaux Ad hoc : Systèmes de Confiance et de Détection de Répliques* », Thèse de Doctorat de l'Université de Limoges 2011.
- [3] Messaoud BELLOULA, « *La géolocalisation dans les réseaux de capteurs sans fils* », Mémoire de Magistère de l'Université El Hadj Lakhdar de Batna, 2012.
- [4] Florent Kaisser, « *Communications dans les réseaux fortement dynamiques* », Thèse de Doctorat de l'Université de Paris Sud - Paris XI Ecole Doctorale Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes 2010.
- [5] Zaater hayet, « *Etude des modèles de mobilité de véhicules et leur simulation* », Mémoire de fin d'étude Master 2, Université de Guelma, 2011.
- [6] Moez Jerbi, Sidi-Mohammed Senouci, Rabah Meraihi and Yacine Ghamri-Doudane, « *An Improved Vehicular Ad Hoc Routing Protocol for City Environments* », IEEE Communications Society subject matter, publication 07/ 2007.
- [7] Vehicle Infrastructure Integration – VII. <http://www.its.dot.gov/vii/>.
- [8] Olivier Rivaton, « *Le routage de l'information dans les réseaux véhiculaires mobiles*», Mémoire de l'Université LAVAL Québec, Canada, 2016.
- [9] Bouguer Safia, « *Etude et simulation comparative entre les réseaux de capteurs sans fils traditionnels et les réseaux de capteurs véhiculaires* » Mémoire d'Ingénieur, Université Abou BekrBelkaid Tlemcen, Options Système de Télécommunication 2012.
- [10] Farah El Ali, « *Communication unicast dans les réseaux mobiles dynamiques* », Thèse de Doctorat de l'Université de Technologie de Compiègne, 2012.
- [11] Ayoub Benchabana et Ramla Bensaci, « *Analyse des protocoles de routage dans les réseaux VANET* », Mémoire Master Académique de l'Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2014.
- [12] Bijan Paul Md, Md. Ibrahim and Abu NaserBikas, « *VANET Routing Protocols: Pros and Cons* », International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 20– No.3, April 2011.
- [13] Pei-Chun Cheng, Kevin C, Lee Mario Gerla, JérômeHärrri, « *GeoDTN+Nav: Geographic DTN Routing with Navigator Prediction for Urban Vehicular Environments* », Mobile

- [14] Nadia Haddadou, « *Réseaux Ad Hoc véhiculaires : vers une dissémination de données efficace, coopérative et fiable* », Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est, 2014.
- [15] Talar Atéchian, « *Protocole de routage géo-multipoint hybride et mécanisme d'acheminement de données pour les réseaux ad hoc de véhicules (VANETs)* », Thèse de doctorat de l'institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2010.
- [16] Meraihi Yassine, « *Routage Dans Les RéseauxVéhiculaires (Vanet) Cas D'un Environnement Type Ville* », Mémoire de Magister en Génie Électrique Université M'Hamed Bougara – Boumerdes, 2011.
- [17] POONAM DHAMAL et all, « *Broadcasting Routing Protocols in VANET* », Oriental Journal of Computer Science & Technology, Vol. 4(2), 393-398 (2011).
- [18] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, "DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks," in *Ad Hoc Networking*, C. E. Perkins (Ed.), pp. 139–172, Addison-Wesley, 2001
- [19] Sana Ajmal, AsimRasheed and AamirHasan, « *Classification of VANET MAC, Routing and Approaches A Detailed Survey* », Journal of Universal Computer Science, vol. 20, no. 4 (2014), 462-487.
- [20] Mohammed ERRITALI, « *Contribution à la sécurisation des réseaux ad hoc véhiculaires*», Thèse de doctorat de l'université de Mohammed V –Agdal Faculté Des Sciences Rabat, 2013.
- [21] Salim ALLAL, « *Optimisation des échanges dans le routage géocast pour les réseaux de Véhicules Ad Hoc VANETs*», Thèse de doctorat de l'Université de PARIS NORD 13, 2014.
- [22] Ignacy GAWĘDZKI, « *Algorithmes distribués pour La sécurité et la qualité de service dans les réseaux ad hoc mobiles* », Thèse de doctorat de l'Université de Paris-Sud 11, 2008.
- [23] Jean Carle, Olivier FLAUZAC, Bachar Salim HAGGAR, Florent, « *État de l'art sur les protocoles de routage dans les réseaux ad hoc* », Rapport RISC-SP3.1-#6.ed1, 31/07/2008.
- [24] ABDELLAOUI, Rachid, « *SU-OLSR une nouvelle solution pour la sécurité du protocole OLSR* », Thèse de Maîtrise ès sciences (M. Sc.) en génie concentration réseaux de télécommunications, Ecole de Technologie Supérieure Université du Québec Montréal, 2009.
- [25] Uma Nagaraj, Dr. M. U. Kharat and Poonam Dhamal, « *Study of Various Routing Protocols in VANET* », International Journal of Computer Science & Technology, IJCST Vol. 2, Issue 4, 2011.
- [26] Lionel Barrère, « *Étude et proposition de services dans les réseaux mobiles militaires de*

- type MANet*», », Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux I, 2009.
- [27] Moez JERBI, « *Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections* », Thèse de doctorat de l'Université de D'evry Val D'essonne, 2008.
- [28] Lylia Alouache, Nga Nguyen, Makhlouf Aliouat, Rachid Chelouah, « *New robust protocol for IoV communications* », 2017 ISTE Open Science – Published by ISTE Ltd, London.
- [29] MOHAMED BOUARIR, « *Protocole de routage intelligent pour les réseaux ad hoc de véhicules* », Mémoire de l'Université de Québec En Abitibi-Témiscamingue, 2012.
- [30] Site web de simulateur Onmet++ : <https://omnetpp.org/> Consulté le 2 Mars 2024.
- [31] Site web de simulateur VeINS : <https://veins.car2x.org/> Consulté le 12 Mars 2024.
- [32] Site web de simulateur SUMO : <https://sumo.dlr.de/> Consulté le 2 Mars 2024.