



République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah-Ouargla

Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Département d'Informatique et Technologie de l'information

Mémoire Master Académique

Domaine : Informatique et Technologie de l'Information

Filière : Informatique

Spécialité : Informatique Industrielle

Présenté par : Neciri Said

Thème

**Amélioration D'un Protocole De Routage Basé Sur
La Localisation géographique GPSR pour les VANETs**

Soutenu publiquement

Le : 23/06/2018

Devant le jury :

Président F. Kahlessenane

Examineur A. Korichi

Rapporteur Benmir Abdelkader

Maître-assistant, UKM Ouargla

Promotion 2017-2018



REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord ALLAH tout-puissant de Nous avoir armés de force et me guider pour élaborer ce modeste travail.

*J'adresse mes remerciements à mon encadreur « **Benmir Abdelkader** » pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de guider cette mémoire avec ses conseils et son aide précieuse.*

On tient à adresser mon profonde gratitude à toutes les personnes qui m'a aidés et encourager.

Je remercie les membres du jury d'accepter d'examiner ce modeste travail.

Et en fin mon plus profonde et sincères remerciements a nos parents qui nous ont toujours soutenues, encouragé et aidé, ils ont su de nos données toutes les chances pour réussir.

Neciri Saïd

Table des matières

Chapitre I. Réseaux véhiculaire.....	
I.1. Introduction.....	5
I.2. Les réseaux Ad Hoc et MANET.....	6
I.2.1. Les réseaux sans fils « Wireless network ».....	6
I.2.2. Les réseaux Ad Hoc (WANET).....	7
I.2.3. Les réseaux MANET.....	7
I.2.4. Caractéristiques des réseaux Ad Hoc.....	8
I.3. Les réseaux ad hoc véhiculaires.....	10
I.3.1. Définition d'un réseau VANET.....	10
I.3.2. Les applications.....	11
I.3.3. Les Caractéristiques.....	11
I.3.4. Architecteur de communication.....	12
I.3.5. Travaux dans le domaine des VANET.....	14
I.3.6. Conclusion.....	15
Chapitre II. Protocole de Routage dans les VANETs.....	16
II.1. Introduction.....	17
II.2. Définitions.....	18
II.2.1. Le routage.....	18
II.2.2. Protocole.....	18
II.2.3. Le protocole de routage.....	18
II.2.4. Les différents types routage.....	18
II.3. Routage dans les VANETs.....	19
II.3.1. Problématique.....	19
II.3.2. Classification des protocoles de routage dans les VANETs.....	20
II.4. Comparaison les protocoles de routage proactive et réactive.....	24
II.5. Le protocole GPSR.....	27
II.5.1. Introduction.....	27
II.5.2. Motivation.....	27
II.5.3. Principe de fonctionnement.....	27
II.6. Les limitations.....	30
II.6.1. Mauvaise qualité de la liaison.....	30
II.6.2. Limites dans un environnement à haute mobilité.....	31
II.7. Conclusion.....	31

Chapitre III. Mise en œuvre.....	32
et résultat.....	32
VI.1. Introduction.....	33
VI.2. Présentation de notre solution et Justification.....	33
VI.2.1. GPSR avec un durée de vie de lien (GPSR-LT With Lfie Time)	33
VI.2.2. GPSR-2P.....	38
VI.1. La simulation.....	41
VI.1.1. Les types de simulation	42
VI.1.2. Les simulateurs de réseau	42
VI.2. Implémentation.....	46
VI.2.1. Environnement de travail	46
VI.3. résultat	48
VI.3.1. Paramètre du scénario	48
VI.3.2. Critère d'évaluation.....	48
VI.3.3. Comparaison du resultats de simulation entre le GPSR classique et le GPSR améliorer (GPSR-2P)	48
VI.3.4. Limitations	51
VI.4. Conclusion	52
Conclusion générale.....	53
Bibliographie	54
Webographi.....	57

Liste des figures

Figure 1 : Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure	6
Figure 2:Le modèle des réseaux mobiles sans infrastructure (Ad Hoc)	7
Figure 3:Un exemple de réseau Ad hoc [Meraihi, 2011].....	7
Figure 4:- Illustration d'un MANET [Olivier, 2016].....	8
Figure 5:Topologie dynamique des réseaux ad hoc [Meraihi-2011].....	9
Figure 6: Un exemple des réseaux VANETS [Ken, 2014].....	10
Figure 7:Les modes de communication dans les VANETS [Zhuo et al, 2009].	13
Figure 8:Architecture de réseaux VANETS [Guo, 2009]	14
Figure 9:Routage Unicast [CHELIUS, 2004].....	18
Figure 10: Routage Multicast/Geocast [Agrawal, 2011]	19
Figure 11:Routage Broadcast [Chakroun, 2014]	19
Figure 12:Classification des protocoles de routage dans les VANETS [Perkins-2003]	20
Figure 13:y est le voisin de x le plus proche de la destination D [Bouzite, 2017].....	29
Figure 14:X est plus proche de d que ses voisins y, w [Bouzite, 2017]	29
Figure 15:Passage au mode PR [Karp et Kung, 2000]	30
Figure 16:Suppression incorrecte du voisin de la liste [Sunder, Pai, Boussedjra et Mouzna, 2003]	30
Figure 17:Problème de la sélection d'un nœud voisin dans un environnement a haute mobilité[Sunder, Pai, Boussedjra et Mouzna, 2003]	31
Figure 18:A et B se déplaçant dans la même direction $V_A < V_B$	33
Figure 19:A et B se déplaçant dans la même direction $V_A > V_B$ [Sunder et all, 2003].	34
Figure 20:A et B se déplaçant dans la même direction, mais dans des différentes voies [Sunder et all, 2003].	34
Figure 21:A et B se rapprochent l'un de l'autre dans la direction opposée [Sunder et all, 2003].	36
Figure 22:A et B se quittent l'un a l'autre dans la direction opposée [Sunder et all, 2003]	36
Figure 23: L'organigramme de la suppression efficace du voisin dans la liste	37
Figure 24:Hello Packet	38
Figure 25:Routing Protocol Header.....	38
Figure 26: Un scénario simple de transmission de données en topologie urbaine utilisant le GPSR [Zaimi, 2016].....	39
Figure 27:Un scénario simple de transmission de données en topologie urbaine utilisant le GPSR-2P [Zaimi, 2016].	39
Figure 28:Bloc de méthodologie [Zaimi, 2016].....	41
Figure 29:Interface d'OMNET++.....	44
Figure 30:Architecture générale de Veins	47
Figure 31:Le taux de livraison des paquets en fonction de la densité des nœuds	49
Figure 32:Le délai en fonction en fonction du nombre de véhicules	49
Figure 33:Le taux de livraison des paquets en fonction du nombre de véhicules	50
Figure 34Le délai en fonction en fonction du nombre de véhicules	50
Figure 35:Le taux de livraison des paquets en fonction du nombre de véhicules	51
Figure 36:Le délai en fonction de la densité des nœuds	51

Liste des tableaux

Table 1: Comparaison entre protocoles proactifs et protocoles réactifs.....	25
Table 2: Algorithme d'amélioration de processus Glouton [Zaimi, 2016].....	40
Table 3: La liste des principaux composants disponible dans NS2.....	43
Table 4: La liste des principaux composants disponible dans OMNET++	44
Table 5: Comparaison entre les simulateurs.....	45
Table 6: Configuration de l'ordinateur de simulation.....	46
Table 7: caractéristique du scénario	48

Liste des Abréviations

AODV	Ad hoc On-Demand Vector routing
CPU	Central Processus Unit
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
GPS	Global Positioning System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GSR	Geographic Source Routing
INET	Institut National des Études Territoriales
IT	Intelligent Transportation
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad hoc Networks
NS	Network Simulator
OLSR	Optimized Link State Routing
QOS	Quality Of Service
RREQ	Route Request
RSU	Road Side Units
SUMO	Simulation of Urban MObility
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UMB	Urban Multi-Hop Broadcast
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VANET	Vehicular Ad hoc Networks
WIFI	Wireless Fidelity
ZRP	Zone Routing Protocol

Résumé

La rapide progression des technologies sans fil au cours de ces dernières années a vu naître de nouveaux systèmes de communication dont les réseaux véhiculaires. Ces réseaux visent à intégrer les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans le domaine automobile en vue d'améliorer la sécurité et le confort sur le réseau routier. Offrir un accès Internet aux véhicules et à leurs occupants peut sans doute aider à anticiper certains dangers sur la route tout en rendant plus agréables les déplacements à bord des véhicules. Le déploiement de ce service nécessite que des messages soient échangés entre les véhicules. Le routage constitue un élément crucial dans un réseau, car définissant la façon dont les différentes entités échangent des messages. Le routage dans les VANETS constitue un grand défi car ces derniers sont caractérisés par une forte mobilité entraînant une topologie très dynamique. Notre but dans ce projet est la mise en œuvre d'un protocole de routage basé sur la localisation (géographique) pour les Vehicular Ad-hoc NETWORKS (VANETS) et d'évaluer les performances de ce protocole dans différents scénarios.

Mots-clés : VANET, OMNeT++, Veins, SUMO, protocole de routage, protocole de routage basé sur la localisation, simulation.

Abstract

The fast progression of wireless technologies has motivated the emergence of new communications system called VANETS (Vehicular Adhoc Networks). VANETS enable vehicles on the roadway to communicate with each other and with road infrastructure using wireless capabilities. The applications of VANETS include improving safety and comfort on the road. For example, by providing Internet to vehicles, traveling can be safer and more comfortable. To provide Internet connectivity, messages need to be exchanged between the vehicles. However, it is hard to design an efficient routing protocol for connecting vehicles to Internet with a reasonable cost due to high mobility in VANETS. The aim of our project is the implementation of a routing protocol based on location(geographic) for Vehicular Ad-hoc NETWORKS (VANETs) and to evaluate the performance of this protocol in different scenarios.

Keywords: VANET, Routing Protocol, OMNET++, SOMU, Simulation, urban environment.

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 ad hoc véhiculaire est un ensemble de nœuds mobiles (véhicules) autonomes et coopératifs qui se déplacent et communiquent par une transmission sans fil et ne suppose pas d'infrastructure de gestion préexistante. Le réseau ad hoc se forme de manière spontanée et provisoire dès que plusieurs nœuds se trouvent à portée radio les uns des autres ou un véhicule peut communiquer directement avec un autre ou en comptant sur la coopération des voisins pour router les paquets vers la destination.

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

Dans ce projet de fin étude (PFE) on va implémenter un protocole de routage basé sur la localisation géographique.

Notre mémoire est composé de trois chapitres:

Dans Le premier chapitre présenté les différents concepts liés à ce type de réseaux. Nous présentons les sans fil, les réseaux Ad hoc, les réseaux mobiles Ad Hoc (MANET), les réseaux Ad Hoc véhiculaires(VANET) et leurs caractéristiques.

Dans Le deuxième chapitre, nous présentons le routage dans les réseaux mobiles Ad hoc. Nous nous intéressons à la problématique du routage et les contraintes liées aux réseaux Ad Hoc. Nous décrivons également les principaux protocoles et leurs classifications. Enfin nous présentons les détails sur le fonctionnement du certains protocoles et les solutions proposées.

Dans Le troisième chapitre, nous allons présenter la mise en œuvre et les résultats de différents scénarios pour le protocole GPSR ainsi que notre amélioration du protocole.

Chapitre I. Réseaux véhiculaire

Vue d'ensemble

I.1. Introduction

Les réseaux VANET ne sont qu'une application des réseaux Ad hoc mobiles (MANET). Leur objectif principal est d'améliorer la sécurité routière par l'utilisation de la technologie des communications. Pour la mise en place d'un tel réseau, certains équipements électroniques doivent être installés au sein de véhicules tels que les dispositifs de perception de l'environnement (radars, caméras), un système de localisation GPS, et bien sûr une plateforme de traitement.

Dans ce chapitre, nous présentons les sans fil, les réseaux Ad hoc, les réseaux mobiles Ad Hoc (MANET), les réseaux Ad Hoc véhiculaires(VANET) et leurs caractéristiques.

I.2. Les réseaux Ad Hoc et MANET

I.2.1. Les réseaux sans fils « Wireless network »

C'est un réseau qui ne nécessite pas une connexion filaire entre les machines, la communication se fait par voie hertziennes. Les réseaux sans fils peuvent être organisés en deux classes

I.2.1.1. Réseaux avec infrastructure

Qui est constitué en minimum d'un seul point d'accès. Dans cette classe l'étendu du réseau est défini par le point d'accès (comme les réseaux cellulaires, GSM, et le WIFI).

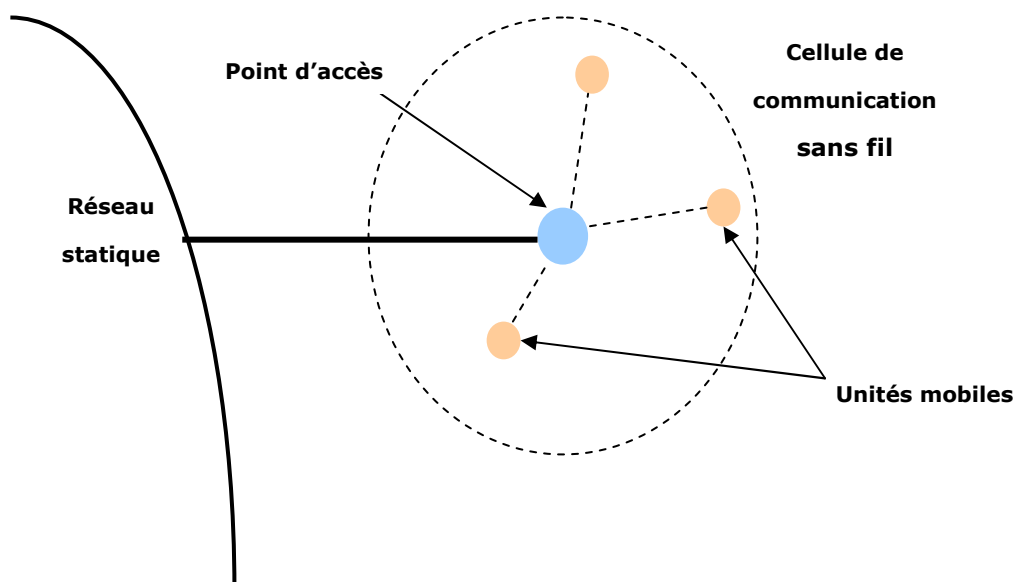


Figure 1 : Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure

I.2.1.2. Réseaux sans infrastructure (ad hoc)

Qui représente un ensemble de station qui communique directement entre elles et forme un réseau point à point (P2P pour peer to peer). Dans ce cas toutes les stations constitues en elles mêmes un point d'accès.

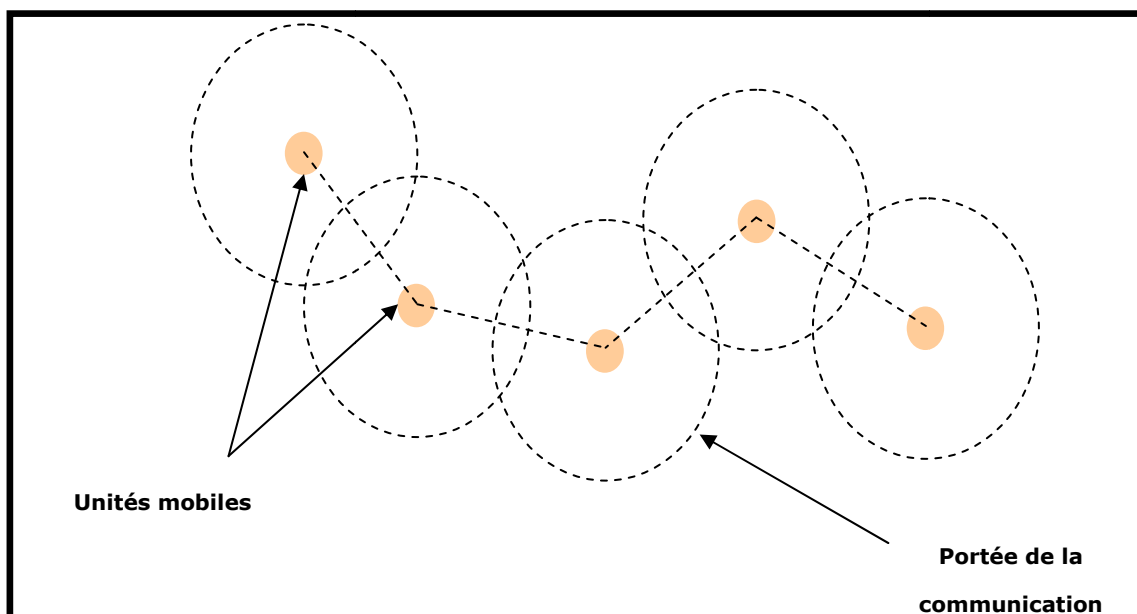


Figure 2:Le modèle des réseaux mobiles sans infrastructure (Ad Hoc)

1.2.2. Les réseaux Ad Hoc

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans fil capables de s'organiser spontanément et de manière autonome dans l'environnement dans lequel ils sont déployés sans infrastructure définie préalablement, créés à la demande pour répondre à un besoin spécifique. La tâche de la gestion du réseau est répartie sur l'ensemble d'entités communicantes par liaison sans-fil, ces entités sont souvent appelées «nœuds» [Burgod, 2009].

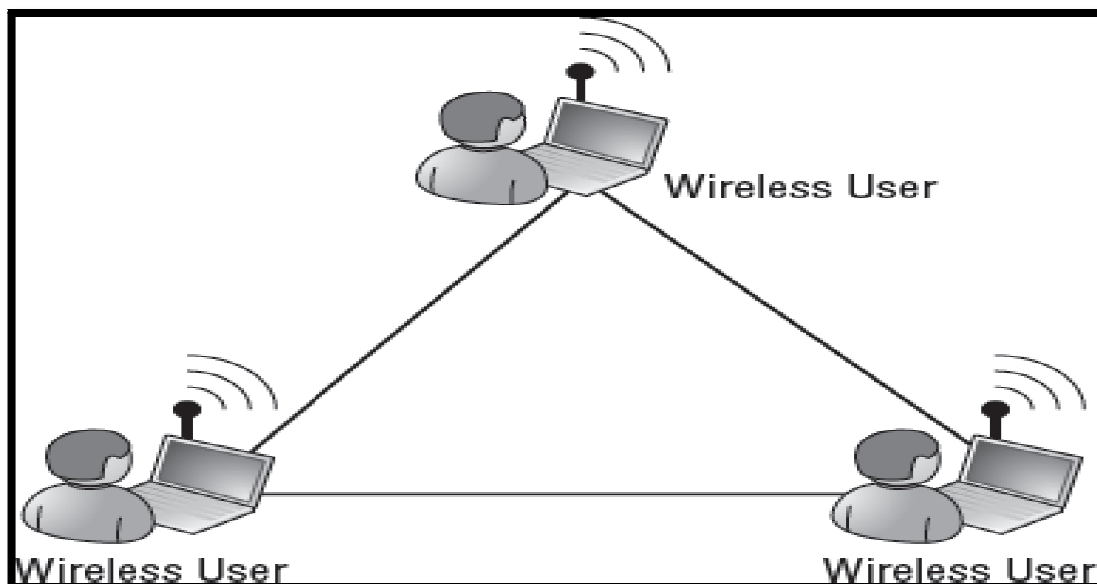


Figure 3:Un exemple de réseau Ad hoc [Meraihi, 2011].

1.2.3. Les réseaux MANET

Le réseau mobile ad hoc, appelé généralement MANET (Mobile Ad hoc NETWORK) est un système autonome se compose des nœud mobiles dynamiques interconnectés par des liens sans fil et sans

l'utilisation de l'infrastructure fixe [Corson et al,1999] . Les nœuds sont libres de se déplacer de façon aléatoire et, par conséquent, peuvent changer la structure du réseau rapidement et de manière imprévisible.

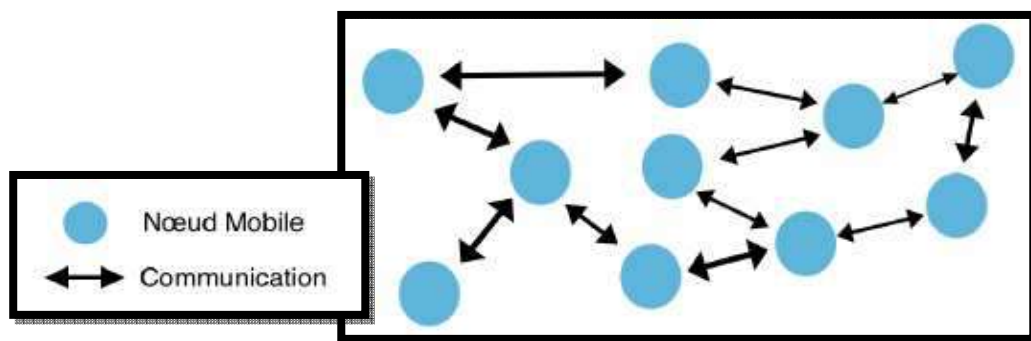


Figure 4:- Illustration d'un MANET [Olivier, 2016]

1.2.4. Caractéristiques des réseaux Ad Hoc

Les réseaux mobiles Ad Hoc présentent plusieurs caractéristiques, à savoir :

1.2.4.1. Absence d'infrastructure

Les nœuds d'un réseau Ad Hoc travaillent dans un environnement pair à pair 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 [Gerbi, 2008].

1.2.4.2. Routage par relais

Lorsqu'une machine veut communiquer avec une autre se trouvant hors de sa portée, chaque nœud actif du réseau sert de routeur pour ses voisins.

1.2.4.3. Topologie dynamique

Une particularité très importante qui distingue les réseaux mobiles Ad Hoc des réseaux filaires est la mobilité de ses nœuds. Les nœuds sont libres de se déplacer arbitrairement, des routes peuvent se créer et disparaître très souvent, ce qui provoque des changements fréquents dans la topologie du réseau. Ces modifications doivent être prises en compte par le protocole de routage. Cette caractéristique rend la topologie de ce type du réseau sans fil très dynamique [Meraihi, 2011].

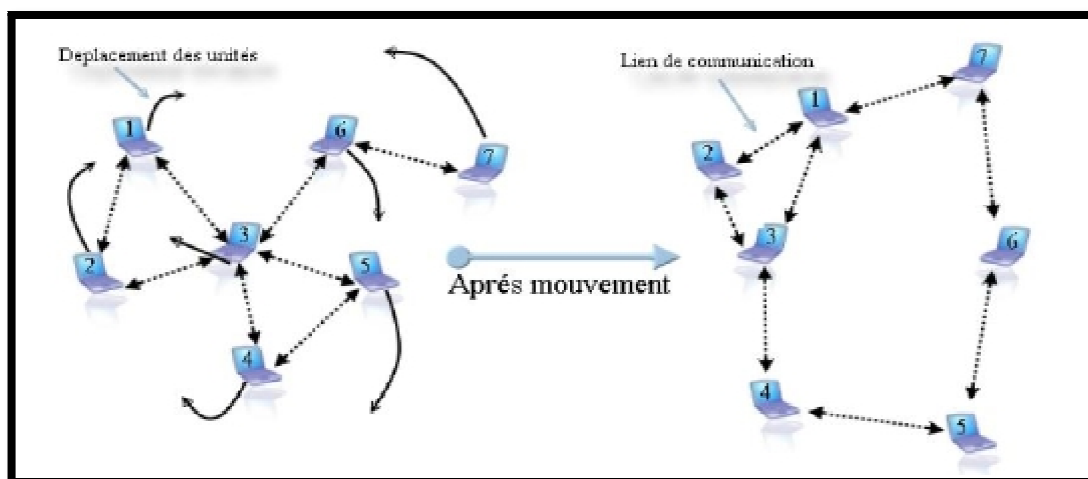


Figure 5: Topologie dynamique des réseaux ad hoc [Meraihi-2011].

1.2.4.4. L'hétérogénéité des nœuds

Un nœud mobile peut être équipé d'une ou plusieurs interfaces radio ayant des capacités de transmission variées et opérant dans des plages de fréquences différentes. Cette hétérogénéité de capacité peut engendrer des liens asymétriques dans le réseau.

De plus, les nœuds peuvent avoir des différences en terme de capacité de traitement (CPU, mémoire), de logiciel, de taille (petit, grand) et de mobilité (lent, rapide). Dans ce cas, une adaptation dynamique des protocoles s'avère nécessaire pour supporter de telles situations [Medjani, 2007].

1.2.4.5. La taille des réseaux ad hoc

Elle est souvent de petite ou moyenne taille (une centaine de nœuds) ; le réseau est utilisé pour étendre temporairement un réseau filaire, comme pour une conférence ou des situations où le déploiement du réseau fixe ne sont pas appropriés. Cependant, certaines applications des réseaux ad hoc peuvent nécessiter une utilisation allant jusqu'à des dizaines de milliers de nœuds [Meraihi, 2011].

1.2.4.6. Multi-sauts

Les réseaux Ad Hoc utilisent souvent des sauts multiples pour éviter les obstacles, minimiser la consommation d'énergie ou pour joindre un nœud qui n'est pas dans la portée de communication de l'émetteur.

I.3. Les réseaux ad hoc véhiculaires

I.3.1. Définition d'un réseau VANET

Les réseaux véhiculaires aussi appelés VANETS (Vehicular Ad-hoc Network) est une particularité des réseaux MANET où les nœuds mobiles sont des véhicules (intelligents) équipés de calculateurs, de cartes réseau et de capteurs.

les véhicules peuvent communiquer directement entre eux (V2V :Véhicule to Véhicule) 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 est que les réseaux VANETs contribueront à l'élaboration de routes plus sûres et plus efficaces à l'avenir en fournissant des informations opportunes aux conducteurs et aux autorités intéressées. Un exemple de réseau VANET urbain est illustré dans la figure 6.

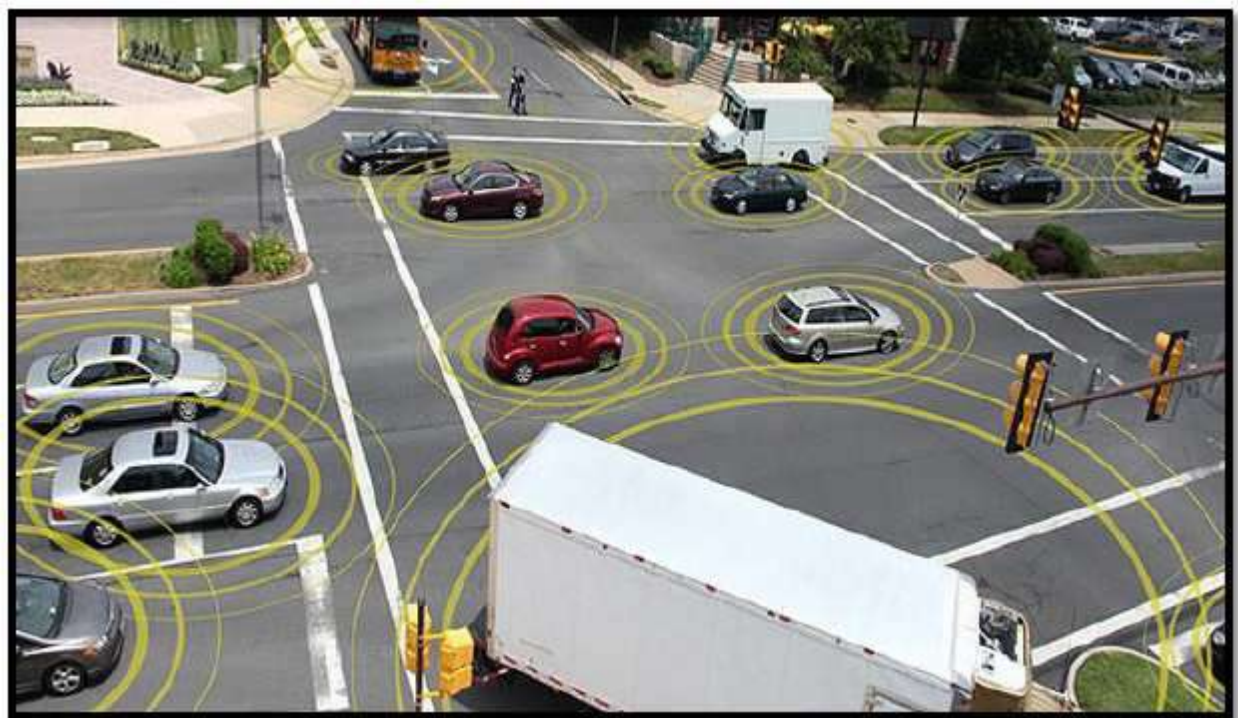


Figure 6: Un exemple des réseaux VANETS [Ken, 2014].

I.3.2. Les applications

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

I.3.2.1. Application dans la prévention et la sécurité routière

La sécurité routière est devenue une priorité dans la plupart des pays développés, cette priorité est motivée par le nombre croissant d'accidents sur ses routes associé à un parc de véhicules de plus en plus important.

Les VANET permettent de prévenir les collisions et les travaux sur les routes, de détecter les obstacles (fixes ou mobiles) et de distribuer les informations météorologiques par envoi de messages d'alerte. A titre d'exemple, alerter un conducteur en cas d'accidents permet d'avertir les véhicules qui se dirigent vers le lieu de l'accident que les conditions de circulations se trouvent modifiées et qu'il est nécessaire de redoubler de vigilance.

Les messages d'alertes et de sécurité doivent être de taille réduite pour être transmis le plus rapidement possible et doivent être émis à des périodes régulières [Meraihi, 2011].

I.3.2.2. Application de gestion de trafic et aide dans la conduite

L'objectif des applications de cette catégorie est de faciliter et d'optimiser les déplacements des usagers de la route grâce à la collecte et au partage de données collectées par les véhicules, ce qui devient un support technique pour les conducteurs. Une voiture peut, par exemple, être avertie en cas d'un ralentissement anormal (bouchon, embouteillage, éboulement de rochers ou travaux).

I.3.2.3. Applications au confort du conducteur et des passagers

les applications de confort ou de divertissement dont l'objectif est de rendre les voyages plus agréables en permettant aux passagers de communiquer soit avec d'autres véhicules ou avec des stations fixes comme l'accès à internet, la messagerie, le chat inter véhicule, etc. Les passagers dans la voiture peuvent jouer en réseaux, télécharger des fichiers MP3, envoyer des cartes à des amis, etc [Meraihi, 2011].

I.3.3. Les Caractéristiques

Les réseaux véhiculaires ont des caractéristiques spécifiques qui les distinguent des autres types de réseaux mobiles (réseaux ad hoc, réseaux de capteurs).

I.3.3.1. Environnement de déplacement et modèle de mobilité :

Les contraintes imposées par cetype d'environnement, à savoir les obstacles radioet les effets de la

propagation à trajets multiples (multipath) ou d'évanouissement (fading), affectent considérablement le modèle de mobilité et la qualité des transmissions radio à prendre en compte dans les protocoles de routage.

1.3.3.2. Forte mobilité et topologie du réseau :

Dans un réseau VANET Les nœuds (véhicules) se déplacent aléatoirement par une vitesse élevée. Par conséquent, un nœud peut rejoindre ou quitter le réseau en un temps très court, ce qui rend les changements de topologie très fréquents.

1.3.3.3. Connectivité et partitionnement de réseau :

la forte mobilité des véhicules et le changement rapide de la topologie de réseau donne comme conséquence la disparition de certains chemins i.e. le partitionnement du réseau peut fréquemment apparaître [Moustafa et al., 2009].

1.3.3.4. Une densité variable du réseau :

la densité des nœuds dans un réseau véhiculaire n'est pas uniforme mais à variation spatiotemporelle. La densité en milieu urbain est par exemple beaucoup plus élevée qu'en milieu rural. D'un point de vue temporel, la densité est par exemple différente selon qu'on considère la nuit ou la journée, les heures de pointe ou les heures creuses..

1.3.4. Architecteur de communication

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 :

1.3.4.1. Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V)

Ce mode de communication fonctionne suivant une architecture décentralisée, et représente un cas particulier des réseaux ad hoc mobiles, Il est basé sur la simple communication inter-véhicules ne nécessitant pas une infrastructure. En effet, un véhicule peut communiquer directement avec un autre véhicule s'il se situe dans sa zone radio, ou bien par le biais d'un protocole multi-sauts qui se charge de transmettre les messages de bout en bout en utilisant les nœuds voisins qui les séparent comme des relais. Dans ce mode, les supports de communication utilisés sont caractérisés par une petite latence et un grand débit de transmission [Santa et al, 2008] [Xu et al, 2003].

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.

Cette approche souffre de certains inconvénients dont nous citons :

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

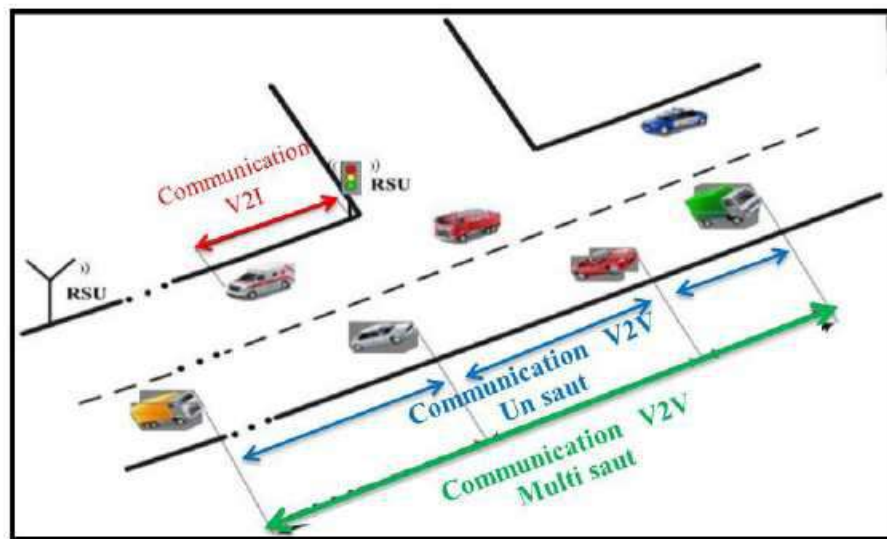


Figure 7: Les modes de communication dans les VANETs [Zhuo et al, 2009].

1.3.4.2. Communications de Véhicule à Infrastructure (V2I)

Ce mode de communication permet une meilleure utilisation des ressources partagées et démultiplie les services fournis (par exemple : accès à Internet, échange de données de voiture-à-domicile, communications de voiture-à-garage de réparation pour le diagnostic distant, ...etc.) grâce à des points d'accès RSU (Road Side Units) déployés aux bords des routes; ce mode est inadéquat pour les applications liées à la sécurité routière car les réseaux à infrastructure ne sont pas performants quant aux délais d'acheminement [Jerbi, 2008]. L'inconvénient majeur de cette approche est que l'installation des stations le long des routes est une tâche coûteuse et prend beaucoup de temps, sans oublier les coûts relatifs à la maintenance des stations.

1.3.4.3. Communications hybrides

La combinaison de ces deux types de communications permet d'obtenir une communication hybride très intéressante (voir la figure). En effet, les portées des infrastructures étant limitées, l'utilisation

de véhicules comme relais permet d'étendre cette portée. Dans un but économique et afin d'éviter la multiplication des stations de bases, l'utilisation des sauts par véhicules intermédiaires prend tout son importance [Qian et al., 2008][Moustafa & Bourdon., 2008].

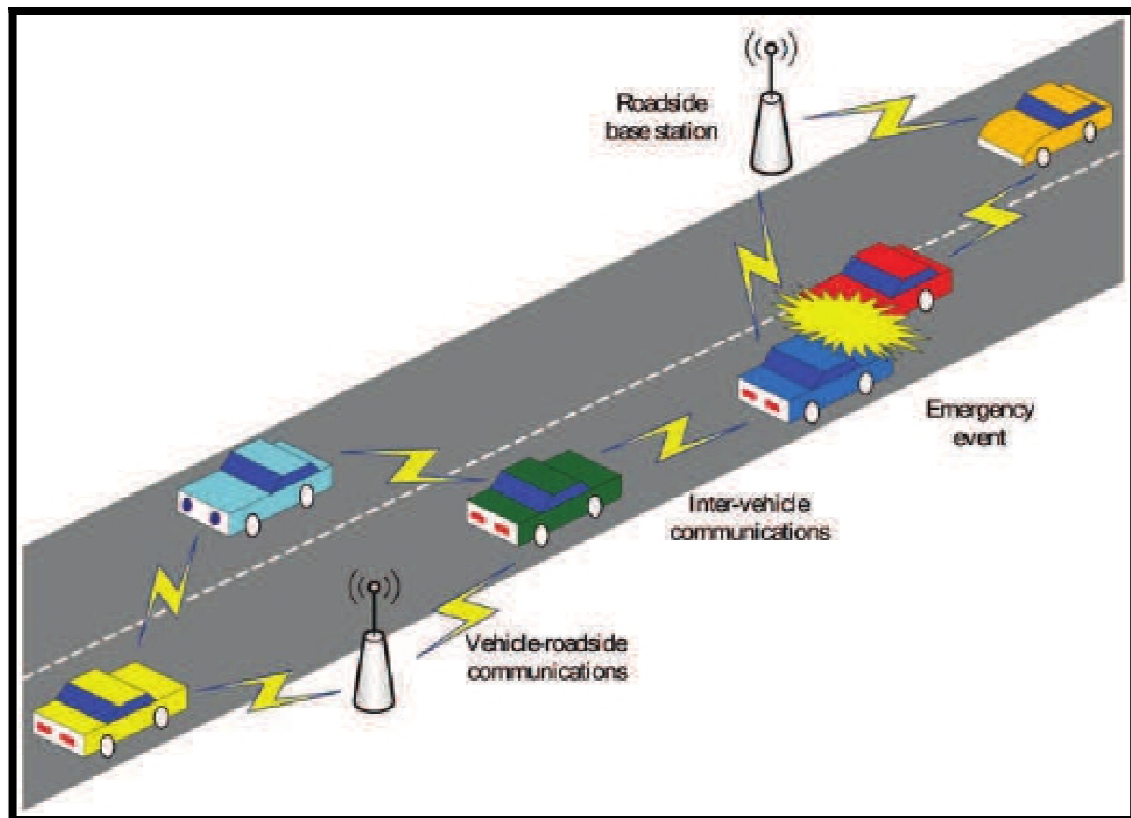


Figure 8: Architecture de réseaux VANETs [Guo, 2009]

1.3.5. Travaux dans le domaine des VANET

Les propriétés des réseaux véhiculaires offrent des challenges importants que l'on peut résumer en ces points :

1.3.5.1. Sécurité :

La sécurité est un défi majeur ayant un grand impact sur le futur déploiement des réseaux véhiculaires ainsi que leurs applications. En raison de la sensibilité des domaines d'utilisation des VANET. Dans ce contexte, beaucoup de travaux de recherche ont été réalisés pour développer un mécanisme de sécurité instituant les relations de confiance entre les nœuds communicants et garantissant le contrôle d'accès aux services.

1.3.5.2. L'accès au canal :

Les réseaux véhiculaires utilisent des communications radio. Par conséquent, il est nécessaire de définir des méthodes qui permettent de faire face aux problèmes des transmissions qui sont, les problèmes d'interférences radio, des problèmes de propagation à multitrajets des ondes ainsi que

les irrégularités électromagnétiques.

I.3.5.3. Routage :

Le routage dans les réseaux VANET est un problème très difficile à gérer et un axe de recherche pour beaucoup de chercheurs. Pour que les véhicules puissent communiquer entre eux, un protocole de routage doit être défini pour établir la communication entre les véhicules.

I.3.5.4. Adressage géographique et geocasting :

le routage geocast [Maihöfer, 2004] est un mécanisme similaire au multi casting dans lequel les destinataires sont identifiés par des contraintes géographiques. Il est utilisé par les applications diffusant des données qui ne sont utiles que pour les véhicules se trouvant dans une zone géographique spécifique. Par exemple, l'information sur un accident n'est pertinente que pour les véhicules qui se dirigent vers le lieu de l'accident. La diffusion des paquets vers tout autre véhicule cause une surcharge inutile du réseau. La complexité dans le geocasting réside dans la détermination de la zone géographique et la définition d'un mécanisme de relayage efficace qui réduit la surcharge du réseau et qui soit adapté à toutes les densités [Khaleda et al., 2009].

I.3.5.5. Problèmes de congestion :

L'un des problèmes des VANET est que chaque véhicule communique avec tous ceux qui sont dans sa zone de couverture. Ceci entraîne une dégradation de la qualité de service (QoS) avec l'augmentation du nombre de véhicules. Les vies humaines sont concernées.

I.3.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur les réseaux sans fil, les réseaux mobiles Ad Hoc ainsi que les réseaux véhiculaires Ad Hoc VANET qui ne sont qu'une particularité des réseaux MANET. Par la suite, nous avons donné les différentes spécificités, contraintes, architectures et services d'applications pour les réseaux véhiculaires. Une des contraintes des réseaux MANET et VANET est le problème d'acheminement des données entre les nœuds mobiles du réseau. Dans le but de trouver et maintenir un chemin de communication entre une paire de nœuds distants dans un réseau VANET, malgré l'absence d'infrastructure.

Le routage dans les réseaux mobile Ad hoc, la classification des protocoles de routage ainsi que des détails sur le fonctionnement de certains protocoles sont pris en compte dans le chapitre suivant.

Chapitre II. Protocole de Routage dans les VANETs

II.1. Introduction

Le routage dans les réseaux VANET est un problème très difficile qui pose des défis pour de nombreux chercheurs. Alors pour garantir l'acheminement des messages dans les réseaux ad hoc mobiles (MANETs). Cependant, compte tenu de la nature très dynamique des réseaux de véhicules, ces protocoles MANETs deviennent inadaptés et sont pénalisés par la forte mobilité des véhicules. Des mécanismes et des protocoles spécifiques doivent donc être utilisés afin d'effectuer un routage efficace et performant dans la partie ad hoc du réseau de véhicules.

Dans ce chapitre, nous présentons la problématique du routage dans les réseaux de véhicules et décrivons les différentes solutions pour le routage dans VANET et nous illustrons les problèmes liés à ces protocoles. Dans la section suivante, nous discutons les diverses applications/services de communications inter-véhicules exigées par notre solution de routage pour conclure ce chapitre.

II.2. Définitions

II.2.1. Le routage

Le routage est le mécanisme qui permet de trouver et maintenir un chemin de communication entre un expéditeur et un ou plusieurs destinataires.

II.2.2. Protocole

Est un ensemble de règles de communication respectées par tous les systèmes interconnectés afin de permettre la liaison entre systèmes émetteurs et systèmes récepteurs.

II.2.3. Le protocole de routage

Est un ensemble de règles qui permet d'acheminer les données envoyées par une source à une destination en respectant certains critères.

II.2.4. Les différents types routage

Les différents types de routages sont les suivants :

II.2.4.1. Routage Unicast : l'information transite d'un nœud source vers un nœud destinataire

; une connexion de réseau point à point (peer to peer).

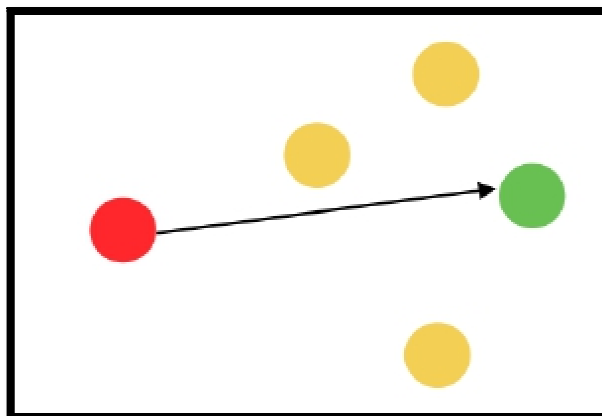


Figure 9:Routage Unicast [CHELIUS, 2004]

II.2.4.2. Routage Multicast/Geocast :

l'information est transmise d'un nœud source vers plusieurs nœuds destinataires précis (Multicast), ou à tous les destinataires présents dans une zone géographique donnée (Geocast).

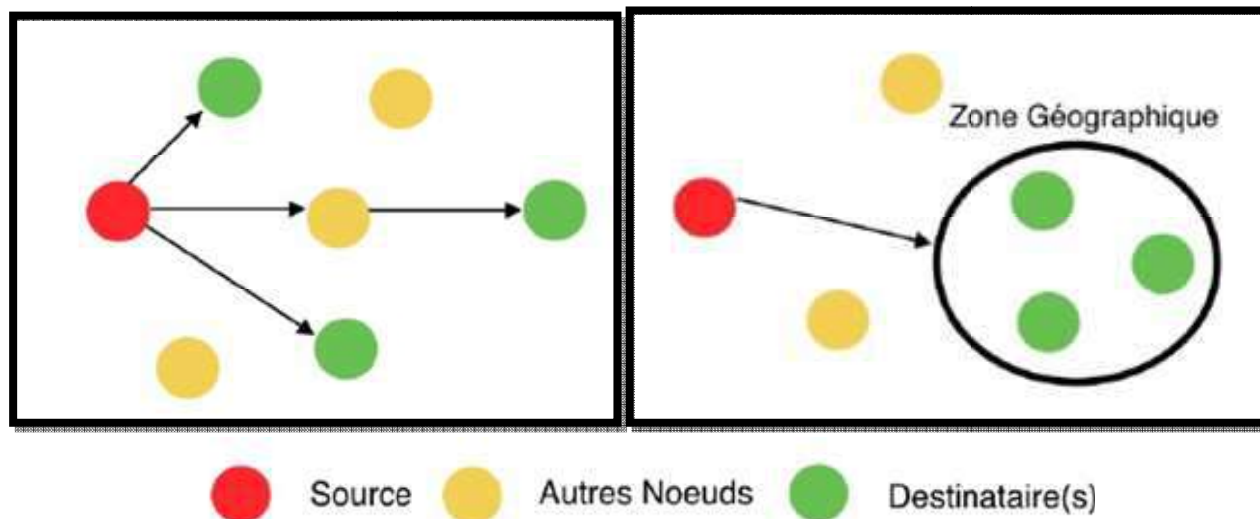


Figure 10: Routage Multicast/Geocast [Agrawal, 2011]

II.2.4.3. Routage Broadcast: L'information du nœud source est envoyée à tous les nœuds présents autour de ce dernier.

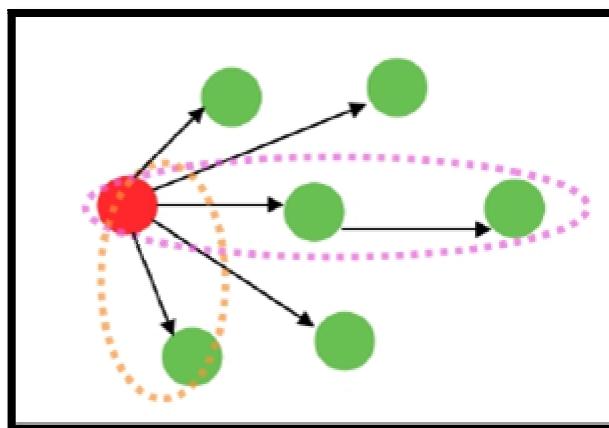


Figure 11: Routing Broadcast [Chakroun, 2014]

II.3. Routage dans les VANETs

Vu quelques exigences et contraintes de ce type de réseau comme la limitation de la portée de transmission d'un nœud et les changements fréquents de l'état des liens, il s'avère nécessaire de mettre en œuvre des protocoles de routage qui s'adaptent aux exigences de ces réseaux.

II.3.1. Problématique

L'architecture d'un réseau mobile ad hoc est caractérisée par une absence d'infrastructure fixe préexistante, à l'inverse des réseaux de télécommunication classiques. Un réseau ad hoc doit s'organiser automatiquement de façon à être déployable rapidement et pouvoir s'adapter aux conditions de propagation, au trafic et aux différents mouvements pouvant intervenir au sein des unités mobiles. Dans le but d'assurer la connectivité du réseau, malgré l'absence d'infrastructure fixe

et la mobilité des stations, chaque nœud est susceptible d'être mis à contribution pour participer au routage et pour retransmettre les paquets d'un nœud qui n'est pas en mesure d'atteindre sa destination : tout nœud joue ainsi le rôle de station et de routeur. Chaque nœud participe donc à un protocole de routage qui lui permet de découvrir les chemins existants, afin d'atteindre les autres nœuds du réseau. Le fait que la taille d'un réseau ad hoc peut être énorme, souligne que la gestion de routage de l'environnement doit être complètement différente des approches utilisées dans le routage classique. Le problème qui se pose dans le contexte des réseaux ad hoc est l'adaptation de la méthode d'acheminement utilisée avec le grand nombre d'unités existant dans un environnement caractérisé par de modestes capacités de calcul et de sauvegarde [BOUZITE, 2017].

II.3.2. Classification des protocoles de routage dans les VANETs

Le principal but de toute stratégie de routage est de mettre en œuvre une méthode de gestion d'acheminement robuste et efficace. En général, toute stratégie de routage repose sur des mécanismes que nous pouvons regrouper en deux grandes classes : les protocoles de routage topologiques et les protocoles de routage géographiques [Bouzite, 2017].

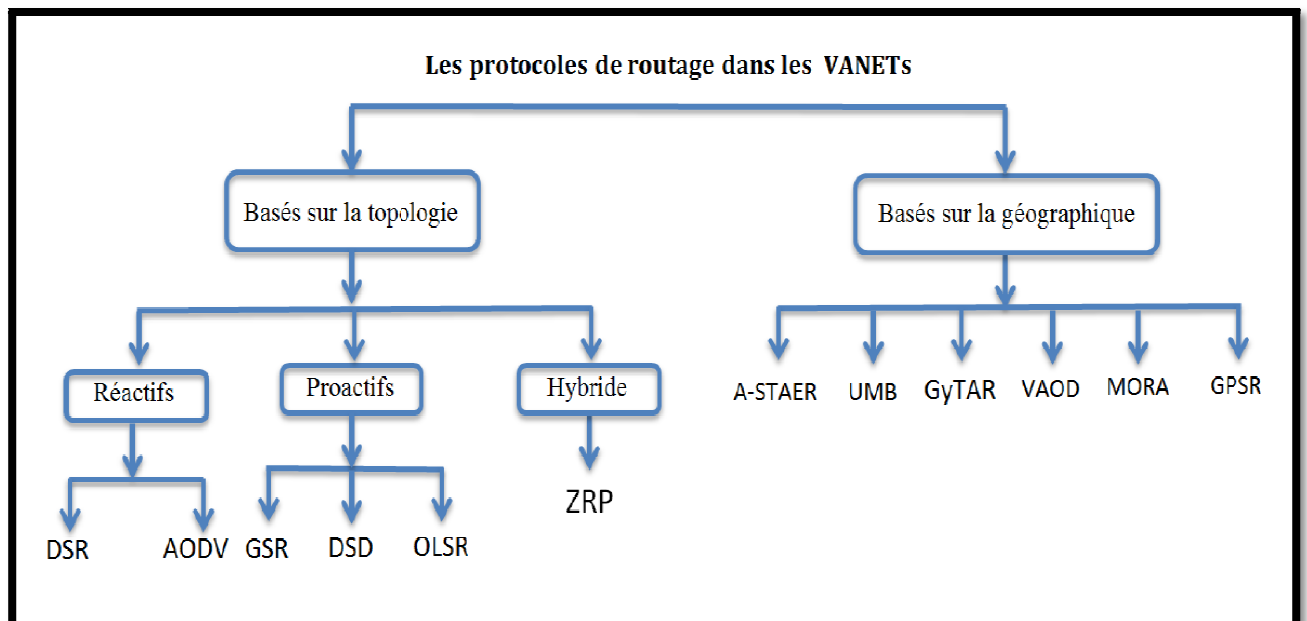


Figure 12: Classification des protocoles de routage dans les VANETs [Perkins-2003]

II.3.2.1.1. Les protocoles de routage topologiques

Ils sont les protocoles qui se basent sur la topologie du réseau. Plus précisément, ces protocoles utilisent les informations sur les liens du réseau pour la transmission des paquets. Ils peuvent être classés en quatre catégories : les protocoles proactifs, les protocoles réactifs, les protocoles hybrides, et les protocoles hiérarchiques.

A. Les protocoles proactifs

Le principe de base des protocoles proactifs est de calculer les routes à l'avance, et conserver toutes les routes possibles pour chaque destination dans une table de routage qu'il construit et qu'il maintient. La route sera donc immédiatement connue lorsqu'un nœud désire envoyer un paquet à un autre nœud. Cependant, la bande passante diminue de part le trafic généré par l'échange de paquets de contrôle.

II.3.2.2. Le protocole OLSR

Le protocole de routage OLSR (Optimized Link State Routing) [Badis et al, 2004] [Clausen et al, 2003] [Meraihi, 2011] 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), donc 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 retransmettre les messages qu'ils reçoivent. Les voisins d'un nœud qui ne sont pas MPRs, lisent et traitent les paquets mais ne les retransmettent pas.

II.3.2.3. Le protocole DSDV

Le protocole de routage DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector) [Guizani, 2012] [Charles et al, 1994] est un protocole de routage de type vecteur de distance. Chaque nœud maintient une table de routage contenant des informations sur les destinations accessibles dans le réseau. Ces informations comprennent le nœud suivant utilisé pour atteindre la destination, le nombre de sauts qui sépare le nœud de la destination et le numéro de séquence estampillé par la destination. Ce numéro de séquence permet de distinguer les nouvelles routes des anciennes. Chaque nœud envoie périodiquement à ses voisins la totalité de sa table de routage. D'autres paquets de mise à jour sont aussi envoyés à la suite d'un changement dans la topologie du réseau. Ces paquets n'incluent que les entrées de la table affectées par le changement et ont pour objectif de propager les informations de routage aussi rapidement que possible. Quand un nœud reçoit un paquet de mise à jour, il le compare avec les informations existantes dans sa table de routage. Toute entrée dans la table est

mise à jour si l'information reçue est plus récente (ayant un numéro de séquence plus grand), ou si elles ont le même numéro de séquence mais avec une distance plus courte.

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

II.3.2.4. Le protocole GSR

Le protocole GSR (Global State Routing) [Guizani, 2012] est un protocole proactif à état de liens où chaque nœud connaît la topologie globale du réseau ce qui lui permet de calculer les routes pour atteindre chaque destination. GSR diffère des protocoles à état de liens dans le fait que les nœuds ne diffusent pas leurs états de liens à tout le réseau, mais ils se limitent à l'envoyer aux voisins uniquement. Ainsi, GSR réduit le trafic des paquets de contrôle. Le problème de GSR est la taille de ses paquets de mise à jour (table de topologie) qui peuvent devenir considérable si le réseau contient un grand nombre de nœuds. En plus, il a une lenteur dans la détection des changements de la topologie.

B. Les protocoles réactifs

Les protocoles réactifs également appelés protocoles de routage à la demande (on-demand routing protocols) attendent qu'une route soit demandée pour essayer de la déterminer. Dans ce cas, un délai supplémentaire est nécessaire au début de chaque session pour la recherche du chemin.

II.3.2.5. Le protocole AODV

Le protocole de routage AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) [Guizani, 2012] est un protocole décrit dans la [Charles et al, 2003] 7 Ce protocole crée les routes au besoin et utilise le principe de numéro de séquence afin d'utiliser les routes les plus nouvelles, dites encore les plus fraîches. En plus, il utilise le nombre de sauts comme métrique pour choisir entre plusieurs routes disponibles. Trois types de paquets sont utilisés par AODV : les paquets de requête de route RREQ (Route Request Message), les paquets de réponse de route RREP (Route Reply Message) et les paquets d'erreur de route RERR (Route Error Message). En plus de ces paquets, AODV invoque des paquets de contrôle HELLO qui permettent de vérifier la connectivité des routes. AODV repose sur deux mécanismes : découverte de route et maintenance de route. La découverte de route permet de trouver une route pour atteindre une destination et la maintenance de route permet de

détecter et signaler les coupures de routes provoquées éventuellement par la mobilité des nœuds.

II.3.2.6. Le protocole DSR

Le protocole de routage DSR (Dynamic Source Routing) [Guizani, 2012] est un protocole qui est normalisé dans la [Johnson et al, 2007] 8 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.

C. Les protocoles hybrides

Les protocoles hybrides combinent les deux approches précédentes. Ils utilisent une technique proactive dans un petit périmètre autour de la source où le nombre de sauts est assez petit pour le but de réduire le délai de la recherche du chemin et utilisent une technique réactive pour les nœuds plus éloignés pour le but d'économiser la bande passante et l'énergie.

II.3.2.7. Le protocole ZRP

Le protocole de routage ZRP (Zone Routing Protocol) [Guizani, 2012] [Zygmunt et al, 2003]¹ est un protocole hybride qui combine les deux approches proactives 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.

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. Le protocole proactif est IARP (IntraZone Routing Protocol) [Zygmunt et al, 2002d]² et celui réactif est IERP (InterZone Routing Protocol) [Zygmunt et al, 2002c]¹¹ Chaque nœud doit tout d'abord connaître ses voisins. Pour cela, ZRP utilise soit le protocole de contrôle d'accès au support (MAC) pour connaître les voisins immédiats ou le protocole NDP (Neighbour Discovery Protocol) pour la transmission et la gestion des échanges de messages HELLO. Par la suite, chaque nœud invoque le protocole IARP pour découvrir les routes vers tous les autres nœuds qui se trouvent dans sa zone de routage. Cependant, le protocole IERP

¹ <http://www.ietf.org/proceedings/02nov/I-D/draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt>

² <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-zone-iarp-02>

est utilisé à la demande pour chercher les routes entre un nœud et une destination qui se trouvent à l'extérieur de sa zone de routage. Un troisième protocole BRP (Bordercast Resolution Protocol) [Zygmunt et al, 2002b]³ est inclus avec IERP pour guider la propagation des requêtes de recherche de route dans le réseau. BRP utilise les données de la topologie fournies par le protocole IARP afin de construire sa liste des nœuds de périphérie et la façon de les atteindre.

D. Les protocoles de routage hiérarchiques

Les protocoles de routage hiérarchiques a pour but de réduire la taille de la table de routage qui est fonction de la structure de clustering utilisée. Le clustering consiste à classifier les noeuds du réseau d'une manière hiérarchique suivant certains paramètres : adresse, zone géographique, capacités, etc.

II.4. Comparaison entre les protocoles de routage proactive et réactive

Une comparaison entre les deux classes proactive et réactive est présentée dans Tableau 1 [Chaidet et al, 2003]⁴ :

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 contrepartie engendrent un délai lors de la construction (ou de la reconstruction) des routes et produisent plus difficilement des routes optimales (quel que soit le critère).

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

³ <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-zone-ierp-02>

⁴ <http://hal.inria.fr/docs/00/07/18/86/PDF/RR-4700.pdf>

Routage proactif		Routage réactif	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
La topologie du réseau est connue de tous les mobiles. Les routes sont disponibles immédiatement.	Il faut diffuser régulièrement des informations sur les changements de topologie du 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.

Table 1: Comparaison entre protocoles proactifs et protocoles réactifs.

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.

II.4.1.1.1. Le routage géographique

Le routage géographique dans un réseau Ad Hoc est basé sur la position physique des nœuds, donc pour effectuer un routage géographique il est indispensable que tous les nœuds possèdent un moyen de localisation (comme le GPS).

II.4.1.2. Le protocole A-STAR

Le protocole de routage A-STAR (Anchor-based Street and Traffic Aware Routing) [Niu et al, 2008] [Zhao et al, 2006] [Meraihi, 2011] est un protocole de routage basé sur la localisation (position) pour un environnement de communication véhiculaire métropolitain. Il utilise particulièrement les informations sur les itinéraires d'autobus de ville pour identifier une route d'ancre (anchor route) avec une connectivité élevée pour l'acheminement des paquets. A-STAR adopte une approche de routage basée sur l'ancrage (anchor based) qui tient compte des caractéristiques des rues. Un point est associé à chaque rue en fonction de sa capacité (grande ou petite rue qui est desservie par un nombre de bus différent). Les informations de routes fournies par les bus donnent une idée sur la charge du réseau véhiculaire dans chaque rue. Ce qui donne une image de la ville à des moments différents.

II.4.1.3. Le protocole UMB

Le protocole de routage UMB (Urban Multi hop Broadcast Protocol) [Meraihi , 2011] C'est un protocole efficace de la norme 802.11, basé sur l'algorithme de diffusion multi saut pour les réseaux inter véhiculaires avec support d'infrastructure, dans le but de réduire les collisions et d'utiliser efficacement la bande passante. Contrairement aux protocoles de diffusion par inondation, UMB confie les opérations d'envoi et de reconnaissance des paquets aux nœuds les plus éloignés sans connaître à priori des informations sur la topologie du réseau.

UMB est décomposé en deux phases : la première appelée diffusion directionnelle, où le véhicule source sélectionne un nœud dans la direction de diffusion pour faire un relaying de données sans aucune information sur la topologie. La deuxième diffusion aux intersections pour disséminer les paquets dans toutes les directions, pour cela UMB utilise des répéteurs installés dans les intersections pour l'envoi des paquets vers tous les segments. On suppose que chaque véhicule est équipé par un récepteur GPS (Global Position System) et une carte routière électronique. Le principal avantage du protocole UMB est la fiabilité de diffusion multi-saut dans les canaux urbains [Wu et al, 2004] [Korkmaz et al, 2006].

II.4.1.4. Le protocole VADD

Le protocole de routage VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery) [Zhao et al, 2006] [Jerbi, 2008] 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.

II.5. Le protocole GPSR

II.5.1. Introduction

Dans les réseaux de mobiles s'interconnectant sans hiérarchie tels que les réseaux ad hoc, la topologie a un caractère relativement éphémère dû à la mobilité des noeuds. Pour cette raison, les protocoles de routage les plus étudiés pour ce type de réseaux sont les protocoles de routage géographiques car ils permettent d'éviter la surcharge d'informations échangées entre les noeuds qui chercheraient à obtenir la topologie du réseau ou des tables de routage.

Ces protocoles de routage géographique se basent sur le fait que tous les noeuds connaissent leur position, par exemple, grâce à un équipement GPS (Global Positioning System) ou encore par un système de positionnement distribué.

II.5.2. Motivation

Il existe plusieurs protocoles qui définissent différentes manières d'obtenir la position d'un noeud : ce sont les protocoles de localisation. Parmi les principaux, on peut citer SLURP, SLALOM, HGRID, GLS. Une fois la position obtenue, il reste à acheminer le message. Pour ce faire, plusieurs protocoles de routage géographique sont à l'étude : GEAR, DREAM, GPSR.

Nous avons choisi de nous baser sur GPSR. Ce dernier est un protocole de routage géographique qui garantit un passage à l'échelle car seules les informations locales sont stockées et utilisées.

Lorsque GPSR se trouve face à une zone de vide, il passe du mode *greedy* au mode *perimeter*. Ce faisant, il va choisir le prochain saut par rapport à la règle de la main droite. Ce choix a un caractère arbitraire et ne tient pas compte de la possibilité qu'il y ait plus d'opportunités d'acheminement d'un côté ou d'un autre.

II.5.3. Principe de fonctionnement

GPSR (**G**reedy **P**erimeter **S**tateless **R**outing) est un protocole de routage réactif et efficace qui a été conçu et adapté pour les réseaux ad hoc mobiles et les réseaux de capteurs. Son modèle de fonctionnement suppose que tous les noeuds se trouvent au niveau d'un même plan. Du fait de la mobilité des noeuds, certains algorithmes de routage qui se basent sur la topologie du réseau, ou lance une phase de découverte de routes pour acheminer des données ne sont pas adaptés à GPSR.

De ce fait, il utilise la position géographique des noeuds pour l'acheminement des paquets de données ou de contrôle.

Dans un réseau mobile, les noeuds sont susceptibles de se déplacer. Il faut ainsi un mécanisme permettant à chaque noeud de savoir la position de ses voisins. Afin de signaler leur présence et leur localisation, les noeuds inondent le réseau en envoyant un paquet de signalement (messages « beacon ») contenant la position et un identifiant (par exemple, son adresse IP). Nous proposons d'utiliser les messages « beacon » de contrôle pour renseigner les noeuds voisins sur les directions que peuvent assumer un noeud.

L'échange périodique de ces paquets de contrôle permet aux noeuds de construire leur table de position. La période d'émission des messages « beacon » 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 message « beacon » 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. Il faut donc adapter le temps d'émission des paquets de contrôle. Un des avantages du BP (Beaconing Protocol) est que chaque noeud n'a besoin que des informations sur ses voisins directs, ce qui nécessite peu de mémoire.

L'acheminement des paquets par GPSR se fait selon deux modes suivant la densité du réseau : le « Greedy Forwarding » et le « Perimeter Forwarding » (appelés respectivement GF et PF dans la suite).

II.5.3.1. Greedy Forwarding:

Le GF construit un chemin parcourant les noeuds de la source à la destination où chaque noeud qui reçoit un paquet l'achemine en faisant un saut vers le noeud intermédiaire le plus proche de la destination dans sa zone de couverture. La figure 13 montre un exemple de ce mode d'acheminement.

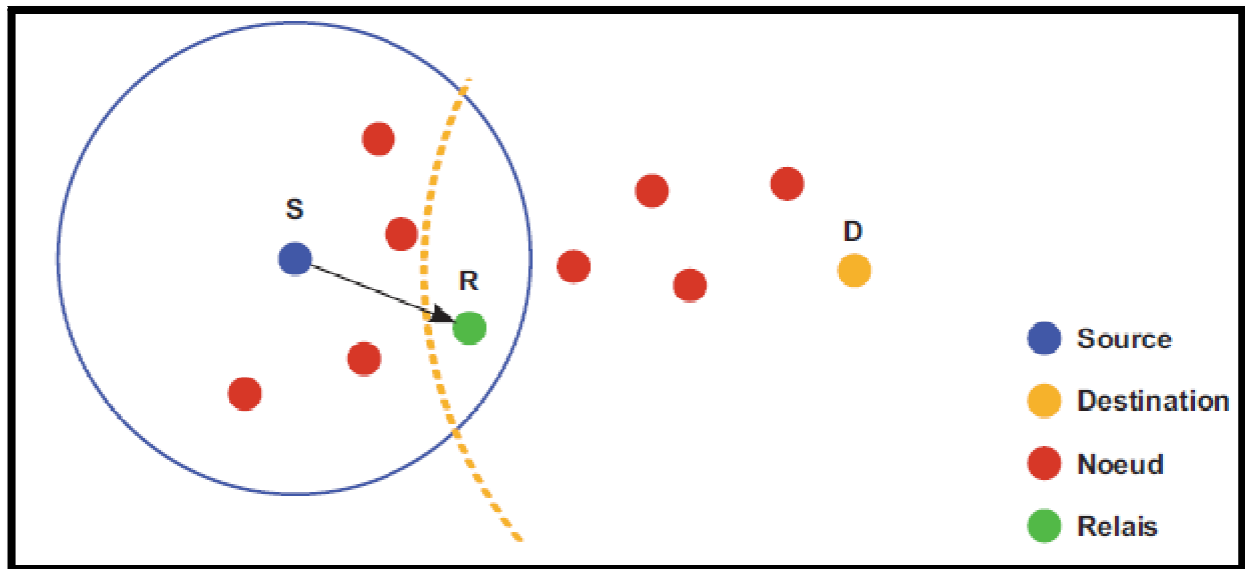


Figure 13: y est le voisin de x le plus proche de la destination D [Bouzite, 2017].

Cet algorithme d'acheminement offre un taux de réussite assez proche des réseaux filaires dans le cas où la mobilité de la destination n'est très forte. Lorsqu'un paquet de données atteint une région où le GF échoue, alors le PF est utilisé.

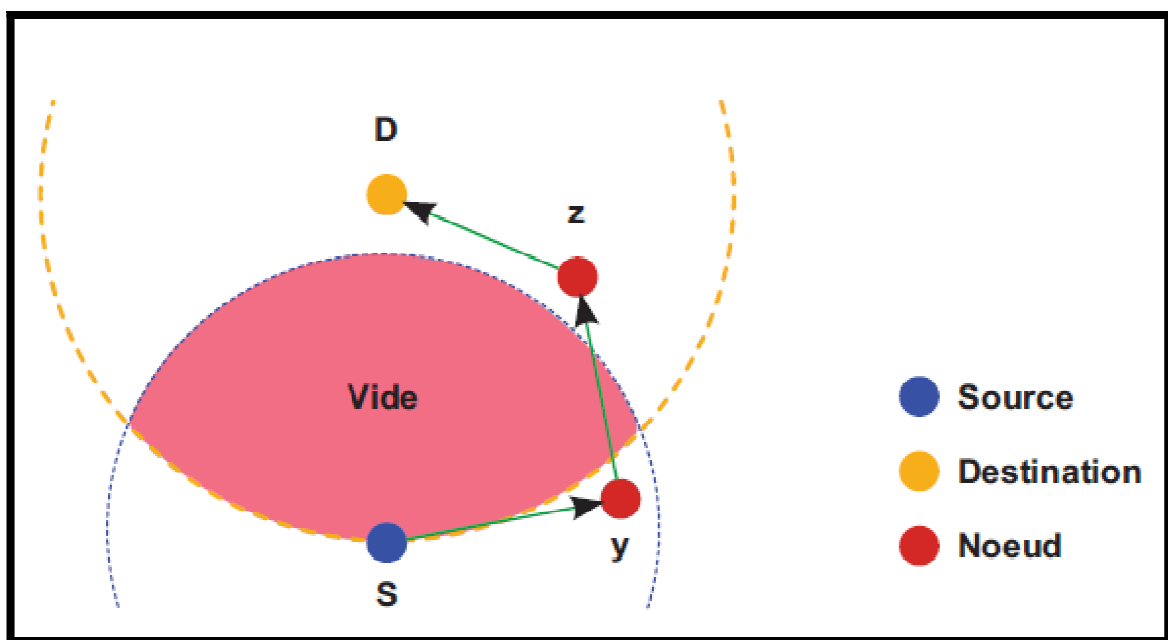


Figure 14: X est plus proche de d que ses voisins y, w [Bouzite, 2017]

II.5.3.2. *Perimeter Forwarding:*

Cet algorithme utilise la règle de la main droite qui est définie comme suit : Lorsqu'un paquet arrive à un noeud x du noeud y , le chemin à suivre est le prochain qui se trouve dans le sens

inverse des aiguilles d'une montre en partant de x et par rapport au segment $[xy]$ tout en évitant les « crossing links » (route déjà parcourue). La figure 15 montre un exemple plus précis de ce mode.

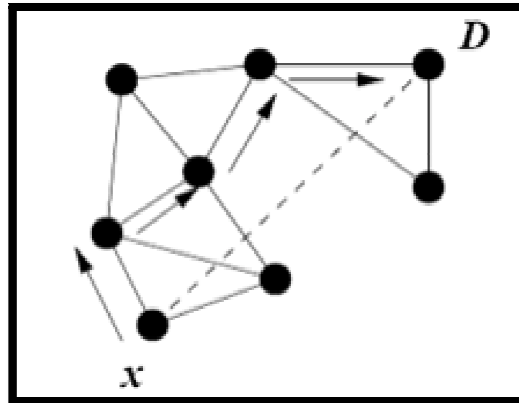


Figure 15: Passage au mode PR [Karp et Kung, 2000]

II.6. Les limitations

GPSR [Sunder, Pai, Boussedjra et Mouzna, 2003] est un protocole de routage géographique adapté pour les réseaux ad hoc mobiles. Il est considéré comme le plus efficace protocole en raison de son meilleur taux de livraison de paquets et faible délai de paquet. Bien que ce protocole semble être solution complète pour les réseaux adhoc véhiculaires mais il souffre des inconvénients suivants :

II.6.1. Mauvaise qualité de la liaison

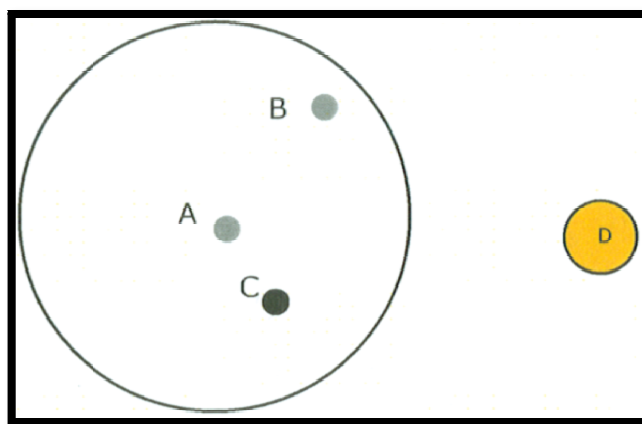


Figure 16: Suppression incorrecte du voisin de la liste [Sunder, Pai, Boussedjra et Mouzna, 2003]

Dans la figure 16, les nœuds B et C sont dans la zone de couverture de A et tous les nœuds diffusent le message HELLO entre eux. Lorsque A reçoit un message HELLO il définit les timers périodiques pour la prochaine réception des messages HELLO de B et C. Si A a reçu le message HELLO de C pour la deuxième fois avant l'expiration du timer, A il réinitialise le timer de C. Mais

A n'a pas reçu le message HELLO de B avant l'expiration du timer. Donc A supposera que B est hors de portée et supprime B de sa table. Il y a une probabilité que B soit toujours dans la zone de couverture de A et en raison de la mauvaise qualité de liaison entre A et B, A n'a pas reçu le message HELLO.

II.6.2. Limites dans un environnement à haute mobilité

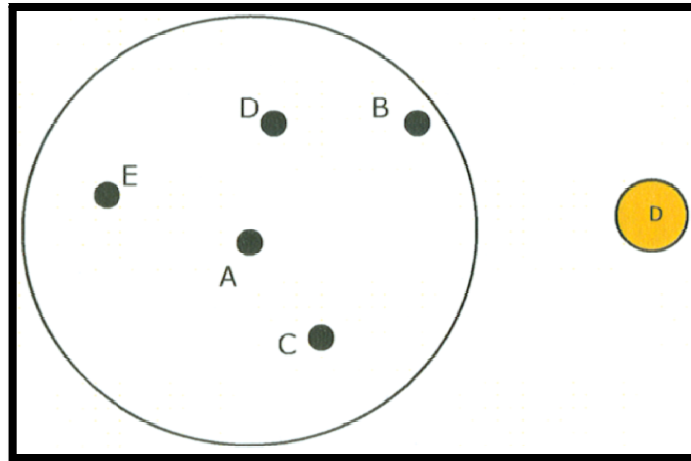


Figure 17: Problème de la sélection d'un nœud voisin dans un environnement à haute mobilité[Sunder, Pai, Boussedjra et Mouzna, 2003]

Considérons une situation illustrée à la figure 17 lorsque le nœud B est à la bordure de la portée de A. le nœud B diffuse le message HELLO à tous les voisins dans sa portée. A à la réception du Message HELLO, définit le timer HELLO pour B. Pendant ce temps, quand A a des données à transmettre, B pourrait être hors de portée en raison de la haute mobilité. Sachant que le timer à A pour le HELLO message de B n'a pas encore expiré, A sélectionne B comme un nœud voisin ce qui entraîne une perte de paquets.

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le concept de routage dans les réseaux Ad Hoc, la classification des protocoles selon différentes critères. On a défini le routage dans VANET. Nous avons comparé différentes approches pour montrer que la performance de chacune dépend énormément des conditions d'utilisation. Ensuite on a présenté certains protocoles de routage qui sont de base défini dans les réseaux MANET ainsi déployé dans les VANET, à savoir ADOV, DSR, DSDV et d'autres qui sont construits pour les VANET tel que VADD, UMB et GPSR. Enfin nous avons vu le fonctionnement général du protocole GPSR. Nous avons aussi détaillé les composantes principales du protocole ainsi que les limitations de ce protocole. Nous allons voir dans le chapitre suivant la mise en œuvre et les résultats de différents scénarios pour le protocole GPSR.

Chapitre III. Mise en œuvre et résultat

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la mise en œuvre et les résultats de différents scénarios pour le protocole GPSR ainsi que le GPSR proposé, dans le cas d'un véhicule se déplaçant dans une autoroute. Nous commençons par la présentation de notre solution.

Cette section se divisera en trois parties : premièrement, nous décrirons notre solution, et la justification de notre choix, puis nous définirons l'environnement de simulation ainsi que les paramètres d'entrées. Ensuite, nous présenterons notre plan d'expérience et les résultats.

III.2. Présentation de notre solution et Justification

La solution que nous proposons consiste à mettre en œuvre une adaptation du protocole de routage GPSR. Pour cela, nous allons commencer par la justification de notre solution, puis nous présenterons l'environnement de simulation que nous avons choisi d'utiliser pour résoudre ces problèmes, nous utilisons les modification suivants :

III.2.1. GPSR avec un durée de vie de lien (GPSR-LT With Lfie Time)

La durée de vie de lien entre deux véhicules est le temps pendant la quelle les deux nœud restent dans la zone de transmission l'un de l'autre où le lien entre eux reste actif. les nœuds intermédiaires peuvent se déplacer dans les deux directions. Plus loin nous supposons que le noeud source et le noeud de destination ne change pas leur direction pour une période donnée de communication. Pour valider cette solution, nous comparons GPSR [Karp et all, 2000] à GPSR-LT (avec la durée de vie) en termes de taux de livraison de paquet, quand les nœuds sont très mobiles.

La durée de vie d'un lien entre deux nœuds, A et B est calculé pour six scénarios.

a) Scénario 1

Les nœuds A et B se déplacent dans la même direction séparés par une distance "d" où A est derrière B, et la vitesse de A est inférieur à la vitesse de B et circule dans la même voie.

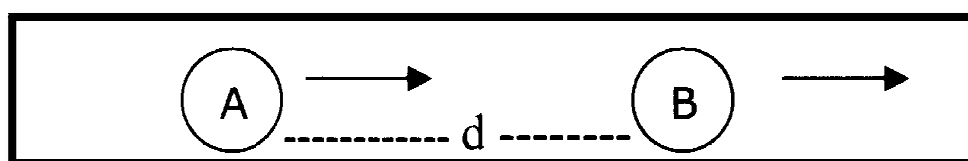


Figure 18:A et B se déplaçant dans la même direction $V_A < V_B$

La valeur de LT dans ce scénario est calculée comme suit:

$$\text{Lifetime} = \frac{(R - D)}{|(V_A - V_B)|} \text{ seconds.}$$

Dans la formule ci-dessus R est le rayon d'un nœud et V_A , V_B sont les vitesses de A et B respectivement.

b) Scenario 2

Les nœuds A et B se déplacent dans la même direction, séparés par la distance «d», où A est derrière B, la vitesse de A est supérieure à B et circule dans la même voie.

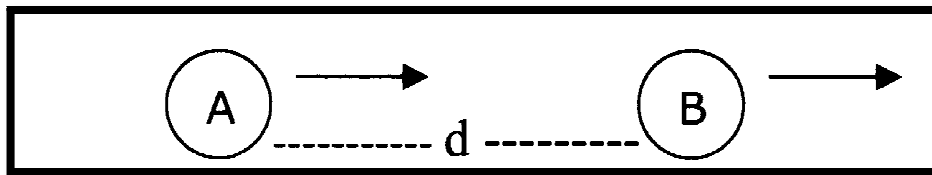


Figure 19: A et B se déplaçant dans la même direction $V_A > V_B$ [Sunder et al, 2003].

La valeur de LT dans ce scénario est calculée comme suit:

$$\text{Lifetime} = \frac{(R + D)}{|(V_A - V_B)|} \text{ seconds.}$$

c) Scénario 3.

Les nœuds A et B sont dans des voies différentes et se déplacent dans la même direction. A et B sont séparés par la distance "d", où A est derrière B et sa vitesse est inférieure à B.

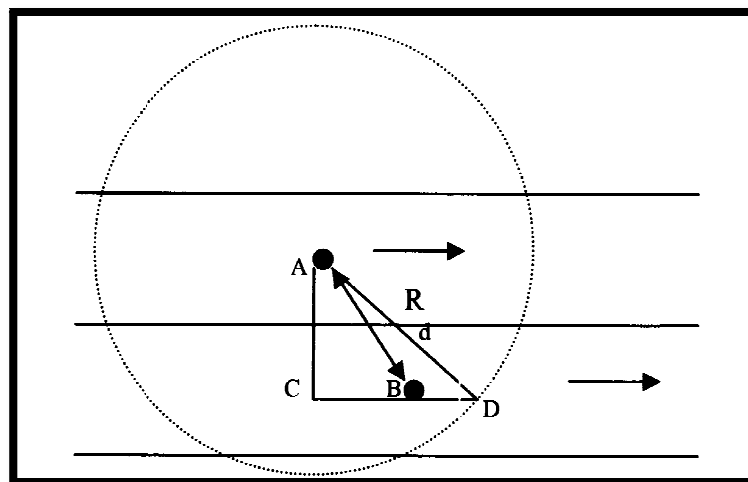


Figure 20: A et B se déplaçant dans la même direction, mais dans des différentes voies [Sunder et al, 2003].

Dans la figure 20, A est à (X_1, Y_1) en mètres et B est à (X_2, Y_2) en mètres. Soit ACD et ACB le triangle rectangle avec $AD = R$, le rayon de A, $CD = R^1$, $CB = X$ et $AC = Y$.

Étant donné les coordonnées de A et B, nous pouvons calculer X et Y comme suit :

$$X = |X_1 - X_2|$$

$$Y = |Y_1 - Y_2|$$

En appliquant le théorème de Pythagore, nous avons

$$R^2 = (R^1)^2 + Y^2$$

$$R^1 = \sqrt{R^2 - Y^2}$$

Donc la durée de vie de lien entre A et B peut être calculée comme suit:

$$\text{Lifetime} = \frac{R^1 - X}{|(V_A - V_B)|} \text{ seconds.}$$

d) Scenario 4

Si l'on considère le scénario précédent où le vitesse de A supérieure à B, la durée de vie est

$$\text{Lifetime} = \frac{R^1 + X}{|(V_A - V_B)|} \text{ seconds.}$$

e) Scenario 5.

les nœuds A et B se déplacent dans la direction opposée séparés par la distance "d", où le nœud A et le nœud B sont se rapprocher les uns des autres.

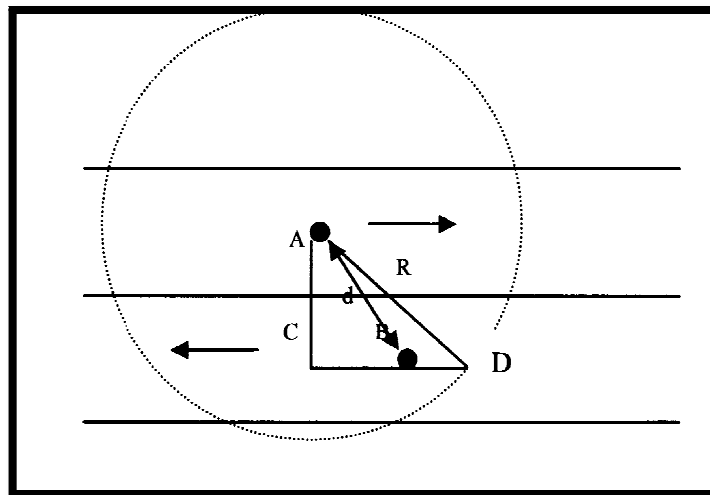


Figure 21:A et B se rapprochent l'un de l'autre dans la direction opposée [Sunder et al, 2003].

$$\text{Lifetime} = \frac{R^1 + X}{|(VA + VB)|} \text{ seconds.}$$

f) Scenario 6

Les nœuds A et B se déplacent dans la direction opposée séparés par la distance d où le noeud A et le noeud B quittent l'un et l'autre.

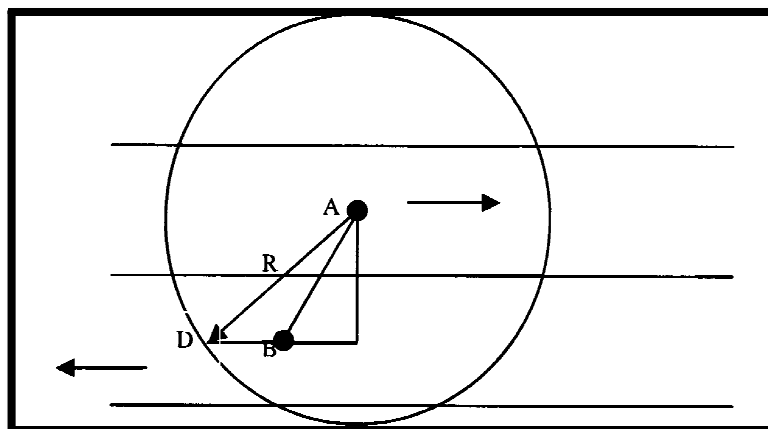


Figure 22:A et B se quittent l'un a l'autre dans la direction opposée [Sunder et al, 2003]

$$\text{Lifetime} = \frac{R^1 - X}{|(VA + VB)|} \text{ seconds.}$$

III.2.1.1. L'utilisation de GPSR-LT

Les problèmes mentionné précédament peut être résolu par l'utilisation de durée de vie. Le noeud A maintient un timer de vie (Lt life timer) pour chaque nœuds voisins. Lorsque le timer Hello (Ht

hello timer) expire, le noeud A vérifie si le timer de vie de son voisin (ex.B) expiré. Si les deux timer (Lt et Ht) ont expiré, le noeud A assumera ce noeud B est sorti de la portée ou il a échoué et supprime ce noeud de la liste des voisins. Si le Lt n'a pas expiré, cela indique que B est toujours dans sa portée. Par conséquent, A supposera que la qualité de la liaison est mauvaise ou qu'il y a une congestion. Il ne supprime pas le noeud B de sa liste et marque B comme noeud défectueux. Pendant ce temps, si A a des données à envoyer, il voit que B est un mauvais noeud et ne sélectionne pas pour le prochain saut. A attend le message "HELLO" de B jusqu'à ce que le timer Lt expire. S'il reçoit le Message "HELLO" avant l'expiration du timer Lt il marque B comme un bon noeud et réinitialise le timer Hello. Par conséquent La durée de vie aide donc à déterminer les différentes caractéristiques du canal et ainsi la liste des voisins peut être efficacement maintenue [Sunder et all, 2003].

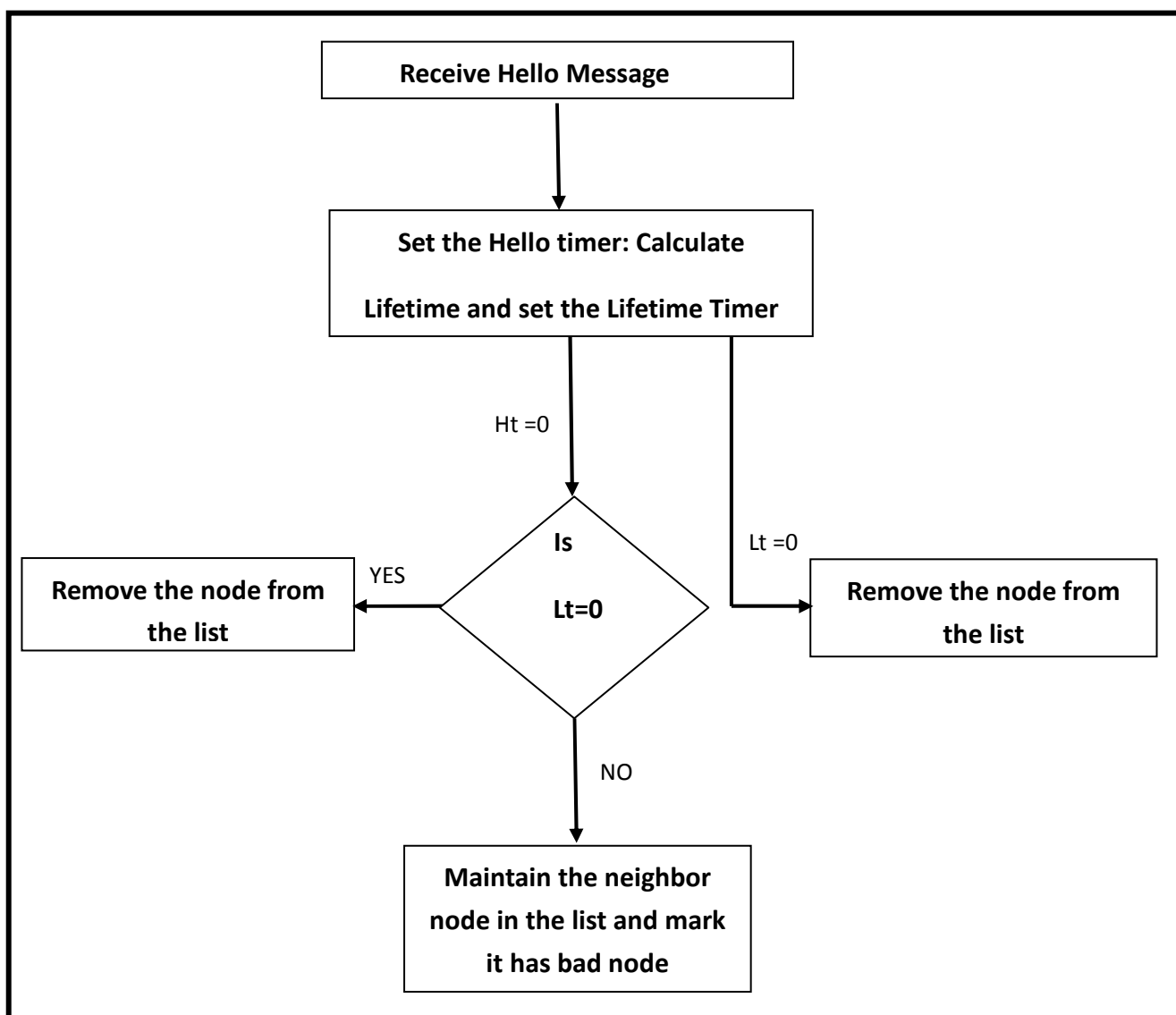


Figure 23: L'organigramme de la suppression efficace du voisin dans la liste

La durée de vie de lien (LT) joue également un rôle important, dans le scénario mentionné au (II.6.2 Limites dans un environnement à haute mobilité).

Seuls les voisins sont maintenus dans la liste des voisins pour chaque nœud dont le timer de LT n'a pas expiré. Lorsque le timer expire, le voisin est retiré de la liste. Cela se traduit par une sélection efficace du prochain saut et évitant ainsi la perte de paquets dans des environnements très mobiles. Dans un situation où la taille des paquets est énorme et la bande passante est très réduite, et le retard de transmission (c'est-à-dire délai de transmission et délai de propagation) devrait être pris en compte lors du prochain processus de sélection du nœud. Par conséquent, un nœud sélectionnera le prochain saut dont la valeur de timer de LT est supérieure au retard de transmission.

III.2.1.2. Format de paquet

La figure ci-dessous montre le paquet "HELLO" et le routage en-tête de protocole utilisé dans GPSR-LT. Au contraire de GPSR, "HELLO" paquet dans GPSR-LT a deux paramètres supplémentaires. Ce sont la direction et la vitesse. En utilisant ces paramètres avec les informations de position, la durée de vie est déterminée.

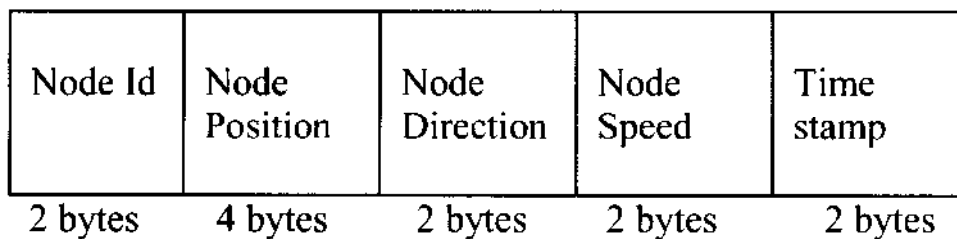


Figure 24:Hello Packet

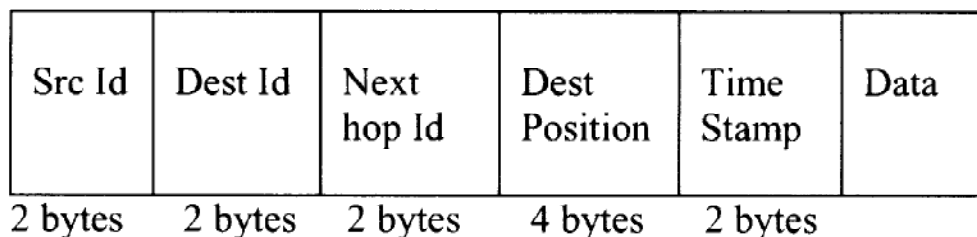


Figure 25:Routing Protocol Header

III.2.2. GPSR-2P

En raison du modèle de mobilité qui caractérise les VANET, la méthodologie d'acheminement du GPSR peut ne pas toujours être efficace. Le choix du nœud voisin avec la distance minimale de la destination nous permet d'utiliser un seul chemin pendant le transfert, comme le montre la Figure26.

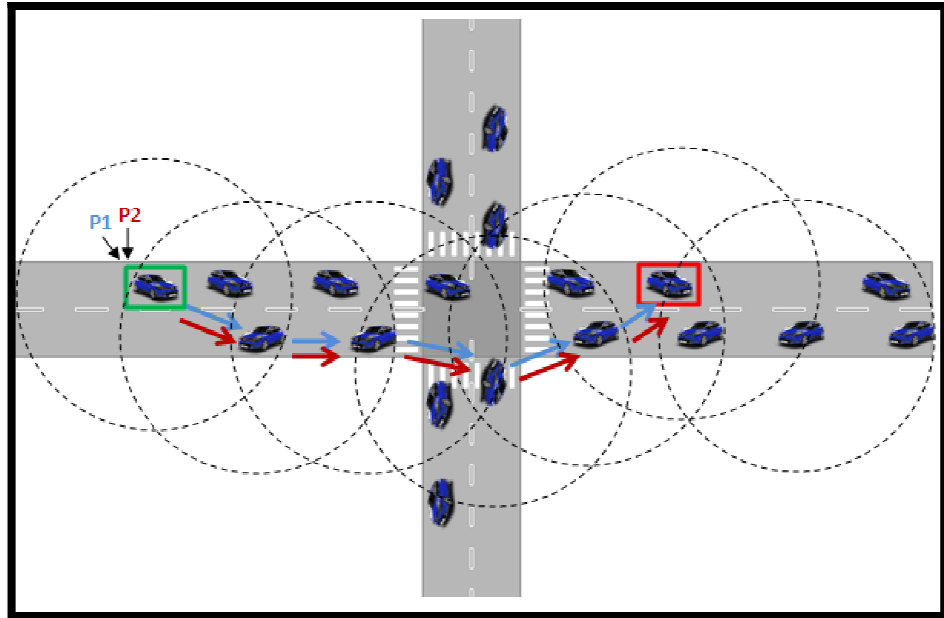


Figure 26: Un scénario simple de transmission de données en topologie urbaine utilisant le GPSR [Zaimi, 2016].

Ainsi, l'algorithme glouton peut conduire à une coupure des liens dû à un chemin très lourd et congestionné en terme de trafic. Donc, si l'émetteur possède deux paquets ayant la même destination, pourquoi le deuxième paquet attendre jusqu'à le premier sera envoyé, alors qu'il peut y avoir un itinéraire alternatif avec un voisin libre et disponible. Le mécanisme proposé se lance un second chemin d'acheminement des paquets tel qu'illustré à la Figure 27.

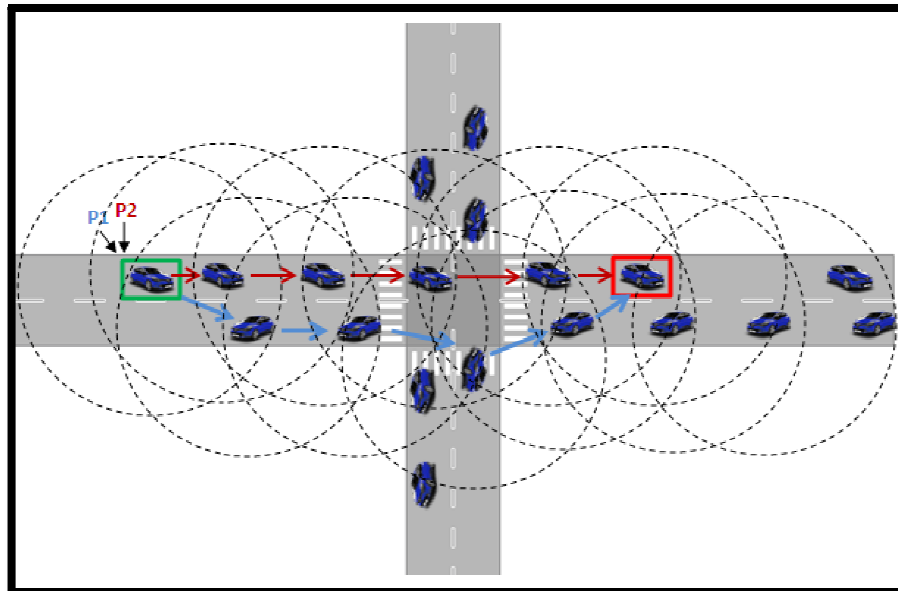


Figure 27: Un scénario simple de transmission de données en topologie urbaine utilisant le GPSR-2P [Zaimi, 2016].

L'amélioration est appliquée sur le processus glouton lors du calcul du meilleur prochain saut pour bénéficier d'autres liens de la topologie qui peut être intéressante et ensuite améliorer le délai de la livraison (tableau 3).

When classical GPSR is invoked:	When GPSR-2P is invoked:
1:If (mode = GREEDY) Then	1:If (mode = GREEDY)
Then	
2: nexthop1 = neighbour with neighbour	2: nexthop2 = second
3: least distance to	3: nearest to the
4: the destination	4: destination
5: If (nexthop1 not found) Then	5: If (nexthop2 not found)
Then	
6: nexthop1 = neighbour computing	6: nexthop2 = nexthop1
7: by perimeter	7: If (nexthop1 not found)
Then	
8: mode = PERIMETER	8: nexthop1 = neighbour
comput-	
9: End if	9: ing by perimeter
10: Else	10: mode = PERIMETER
11: sddis = distance between	11: End if
12: source and destination	12: End if
13: mydis = distance between	13: Else
14: each neighbour	14: sddis = distance
between	
15: and the destination	15: source and destination
16: If(mydis < sddis) Then	16: mydis = distance
between	
17: switch back to greedy	17: each neighbour
18: forwarding mode	18: and the destination
19: Else	19: If(mydis h sddis) Then
20: still perimeter	20: switch back to greedy
21: routing mode	21: forwarding mode
22: End If	22: Else
23:End If	23: still perimeter
24:	24: routing mode
25:	25: End if
26:	26:End if

Table 2:Algorithme d'amélioration de processus Glouton [Zaimi, 2016].

Les étapes de notre amélioration sont les suivantes :

D'abord, le temps du dernier paquet envoyé à une saut choisi, l'identifiant du dernier saut choisi et la destination finale ont été enregistrés lors de la transmission de ce paquet. Ainsi, quand un nœud source veut envoyer un autre paquet, il vérifie, d'une part, si la destination de cette paquet est le même que le dernier et, d'autre part, si le période entre le dernier envoi et le nouvel envoi est très petit. Si c'est le cas, le deuxième paquet sera transmis à le deuxième saut suivant avec la plus petite distance de la destination (Figure 27).

Dans le même contexte, s'il n'y a pas de second saut suivant, le paquet sera envoyé au premier, et s'il n'y a pas de voisins du tout, alors le noeud passera à la stratégie de périmètre. cependant,

si le second paquet arrive après une période plutôt intéressante, il ne sera pas nécessaire d'utiliser GPSR-2P. La Figure 28 et le Le table 3 fournit un résumé explicatif de ce qui vient d'être expliqué [Zaimi, 2016].

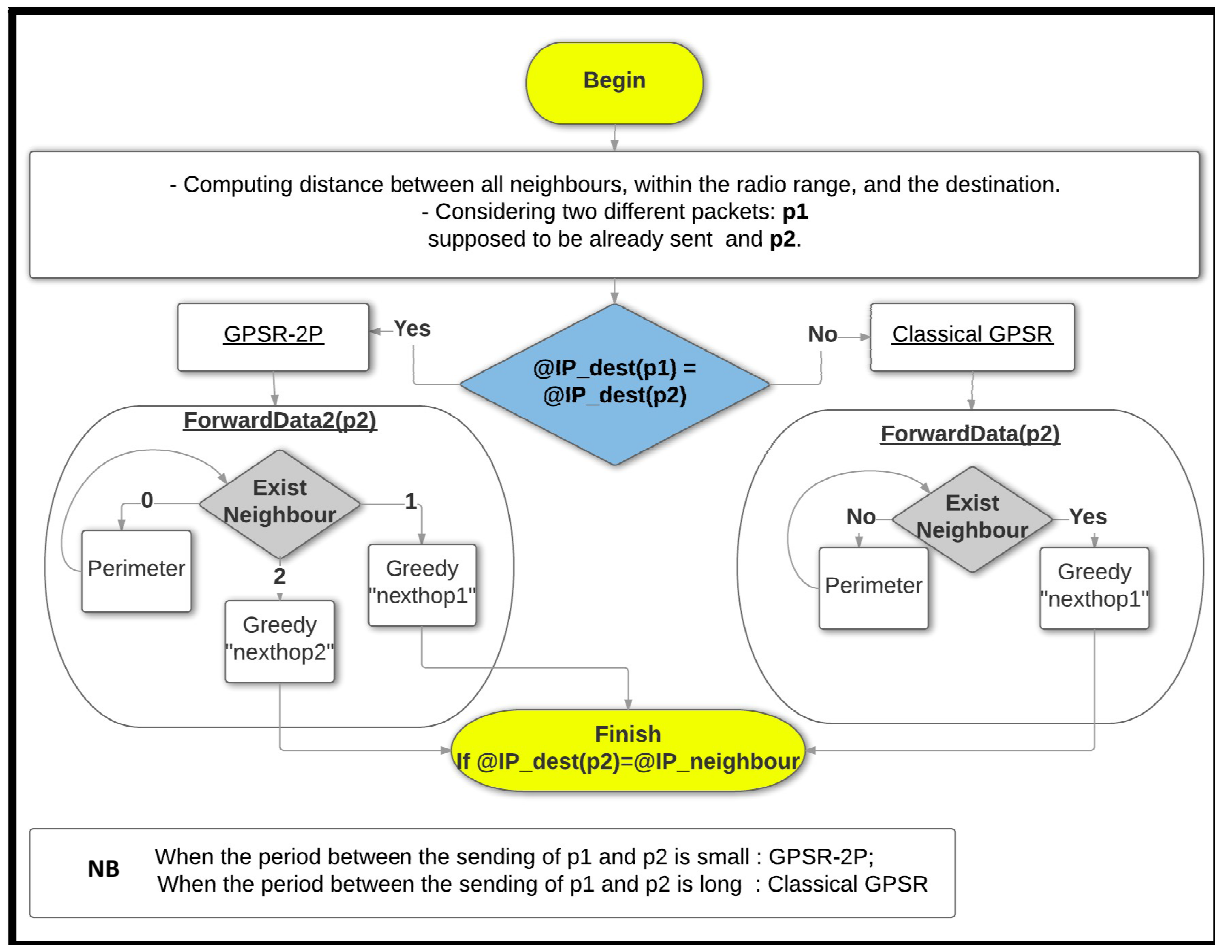


Figure 28: Bloc de méthodologie [Zaimi, 2016].

III.1. La simulation

Actuellement, la simulation constitue l’outil le plus pratique et le plus efficace pour évaluer le comportement d’un système complexe dont la formalisation à l’aide de méthodes analytiques est difficile. En effet, le fait de simuler, c’est le fait de modéliser un système complexe, afin de prévoir son comportement dans le monde réel. Il s’agit d’une approche permettant de représenter le fonctionnement et le comportement d’un système réel qui devient nécessaire dès lors que les modèles analytiques deviennent, soit trop complexes en termes de calcul et de temps de résolution, soit trop simplifié par rapport à son comportement réel, par ce fait, la simulation permet d’effectuer des recherches sur un système, en faisant varier plusieurs paramètres un à un et en recommençant avec les mêmes conditions initiales. Ainsi que la simulation est souvent moins couteuse que l’expérimentation et comporte beaucoup moins de risques lorsque l’homme fait partie du système étudié. Vu que ce type d’évaluation présente un avantage économique et une souplesse dans la

création des scénarios de simulation et permet d'envisager un grand nombre de situations, la communauté de recherche scientifique a été très active en évaluant les performances des divers protocoles de routage Ad hoc, et il y a plusieurs recherches dans ce sens [Rawashdeh et al, 2008], [Jaiswal et al, 2015], et la majorité de ces travaux utilisent la simulation comme moyen d'évaluation des performances [Shukla et al, 2012].

III.1.1. Les types de simulation

En fonction du type d'évènements dans la simulation, nous distinguons deux types de systèmes de simulation : les systèmes discrets et les systèmes continus.

III.1.1.1. Systèmes de simulation discret

Sont des systèmes pour lesquels les variables concernées par la simulation ne changent d'état qu'en un nombre fini de points sur l'axe du temps. On appelle également ces systèmes : systèmes de simulation à évènements discrets.

III.1.1.2. Systèmes de simulation continue

Ce sont des systèmes pour lesquels les variables peuvent changer d'état à n'importe quel instant pendant la simulation.

III.1.2. Les simulateurs de réseau

Les besoins croissants de nouvelles technologies et les nouveaux protocoles avant leur déploiement a conduit à la prolifération des tests des simulateurs. On peut les classer en deux types: les logiciels libres et gratuits tels que OMNet++, J-Sim et NS2... et les logiciels commerciaux tels que OPNET et NetRule...

Parmi ceux, on va citer les simulateurs NS2, et bien sûr notre simulateur OMNET++.

III.1.2.1. Le simulateur NS2

NS2 est un outil de simulation de réseaux de données. Il est bâti autour d'un langage de programmation appelé Tcl dont il est une extension. Du point de vue de l'utilisateur, la mise en œuvre de ce simulateur se fait via une étape de programmation qui décrit la topologie du réseau et le comportement de ses composants, puis vient l'étape de simulation proprement dite et enfin l'interprétation des résultats. Cette dernière étape peut être prise en charge par un outil annexe, NS2 est en réalité un programme relativement complexe écrit en C++ et interfacé via Tcl. Pour modifier le comportement d'objets existants, il est donc nécessaire de modifier le code C++ qui en réalise l'implantation.

appelé nam qui permet une visualisation et une analyse des éléments simulés⁵.

TCL (Tool Command Language) est un langage de commandes qui sert à contrôler les applications. C'est essentiellement un langage de scripts offrant des structures de programmation telles que les boucles, les procédures ou les notions de variables.

Composants:

Application	Web, FTP, Telnet, générateur de trafic (CBR, ..)
Transport	TCP, UDP, RTP, SRM
Routage	Statique, dynamique (vecteur distance) et routage multipoint (DVMRP, PIM)
Gestion des files d'attente	RED, Drop Tail, Token bucket
Discipline de service	CBQ, SFQ, DRR, Fair queueing
Système de transmission	CSMA/CD, CSMA/CA, lien point à point

Table 3: La liste des principaux composants disponible dans NS2

III.1.2.2. Le simulateur OMNeT++

Est un environnement de simulation à événements discrets. Son domaine d'application principal est la simulation de réseaux de communication. Mais en raison de son architecture générique et souple, est utilisé avec succès dans d'autres domaines comme la simulation de systèmes informatiques complexes, les files d'attente des réseaux ou des architectures matérielles. OMNeT++ fournit une architecture de composants pour les modèles. Les composants (Modules) sont programmés en C++, puis assemblés en gros composants et des modèles en utilisant un langage de haut niveau (NED). La réutilisation des modèles est gratuite. OMNeT++ possède un vaste support de l'interface graphique, et en raison de son architecture modulaire, le noyau de simulation (et modèles) peuvent être intégrés facilement dans nos applications. OMNeT++ n'est pas un simulateur de réseau lui-même. Il est en train de prendre une grande popularité en tant que plate-forme de simulation de réseau dans la communauté Scientifique ainsi que dans les milieux industriels, avec la constitution d'une large Communauté d'utilisateurs

⁵ <https://www.memoireonline.com/>

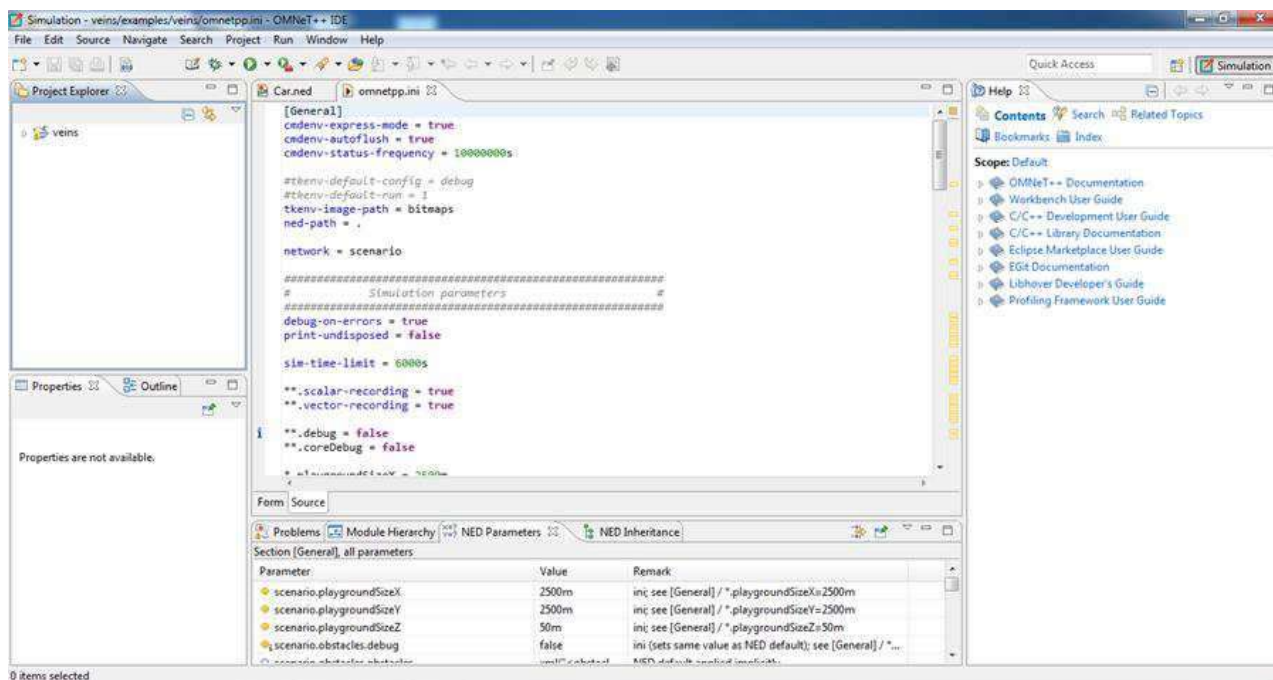


Figure 29:Interface d'OMNET++.

Composants

Application :	FTP, Telnet, générateur de trafic (IPTrfGen..), Ethernet, Ping App, UDPApp, TCPApp
Transport :	TCP, UDP, RTP
Réseau :	IPv4, IPv6, ARP, OSPF, LDP, MPLS, ICMP, TED...
Liaison :	Mgmt, MAC, Radio
Node :	Ad Hoc, Wireless, MPLS...

Table 4:La liste des principaux composants disponible dans OMNET++

III.1.2.3. Comparaison entre les simulateurs

Simulateur	OMNeT++	NS-2
Flexibilité	<p>OMNeT++ est un simulateur flexible et générique, il peut simuler n'importe quel type de réseau.</p> <p>Par exemple, il peut être utilisé pour simuler les files d'attente, les systèmes multiprocesseurs, les architectures de matérielles (routeurs, les commutateurs optiques, les serveurs etc.).</p> <p>Plusieurs modèles sont utilisables</p>	<p>NS-2 a été conçu comme un (TCP/IP) simulateur de réseau, et il est difficile de simuler les choses autre que paquet-commutant les réseaux et les protocoles.</p>

	pour les différents domaines (INET Fw, Mobility Fw, OverSim, NesCT, MACSimulator, etc.)	
Mobilité	OMNeT++ fournit plusieurs modes de mobilités comme le Random Waypoint Mobility Model, le Linear Mobility Model, le Constant Speed Mobility Model, le Basic Mobility Model, etc.	NS-2 ne fournit que le Random Waypoint Mobility Model et le Trajectory Based Mobility Model, ce qui rend difficile de présenter une mobilité linéaire.
La gestion de modèle	Le OMNeT++ noyau de simulation est une bibliothèque de classe, c'est à dire, les modèles dans OMNET++ sont indépendants du noyau de simulation. Les chercheurs ont écrit leurs composants (les modules simples) contre noyau de simulation API du simulateur.	Dans les NS-2, la limite entre le coeur de la simulation et les modèles sont barbouillés d'encre, sans un clair API.
Support pour Les Modèles Hiérarchiques	La structure hiérarchique dans OMNET++ facilite la complexité des méthodes.	Dans NS-2, les modèles sont plats, la création d'un sous réseau ou l'exécution d'un protocole complexe (composition de plusieurs unités indépendantes) n'est pas possible.
Support de traçage	OMNeT++ peut montrer les transmissions de paquets pendant une simulation.	Pas de traçage.
Documentation	La documentation est très bonne et contient tous ce qu'on a besoin pour la simulation (définitions, méthodes, modules, implémentations, etc).	Bonne documentation.
Habilité à courir les grands réseaux	OMNeT++ peuvent simuler une grande topologie de réseaux.	Les NS-2 ont beaucoup de problèmes dans la simulation des grandes topologies de réseaux.

Table 5: Comparaison entre les simulateurs

III.1.2.4. Choix du simulateur OMNET++

OMNeT++ est un environnement de simulation à événements discrets basé sur le langage C++, une application open source et sous licence GNU [IDE04]. Il est totalement programmable, paramétrable et modulaire ainsi grâce à son architecture flexible et générique, il a été utilisé avec succès dans divers domaines.

- La modélisation de réseaux de file d'attente,
- La modélisation de protocoles de communication,
- La validation des architectures hardware,
- L'évaluation de performances pour des systèmes software complexes.

OMNET++ sera notre environnement de simulation, grâce à son architecture modulaire.

III.2. Implémentation

III.2.1. Environnement de travail

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

III.2.1.1. Environnement matériel

La simulation a été réalisée sur un ordinateur LENOVO dont la configuration est la Suivante

Processeur	Intel Core i3-3120M CPU 2.50GHz, 2.50GHz
Mémoire	4.00 Go DDR3
Disque dur	500 Go
Carte graphique	Intel HD Graphics 4000

Table 6: Configuration de l'ordinateur de simulation.

III.2.1.2. Environnement logiciel

Notre simulation a été réalisée dans l'environnement logiciel suivant:

- g) **Systeme d'exploitation** : Microsoft Windows 7 Professionnel.
 - h) **Le simulateur OMNet++ 5** : C'est un simulateur Open Source des réseaux de communication supportant des modèles de mobilités. Il est basé sur C++ et réalise des simulations discrètes.
 - i) **Le simulateur SUMO 0.19.0** : C'est un simulateur Open Source, portable, microscopique et continu de la circulation routière. Il est conçu pour gérer de grands réseaux routiers.
- MinGW "Minimaliste GNU pour Windows", est un environnement de développement minimaliste pour les applications natives de Microsoft windows.

III.2.1.3. SUMO (Simulation de la mobilité urbaine)

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

III.2.1.4. Veins (Vehicles in Network Simulator)

Est un projet open source Inter-Véhicules communication (IVC) simulation Framework composé d'un simulateur de réseau basé sur les événements et un modèle de micro-traffic de la route. Veins

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

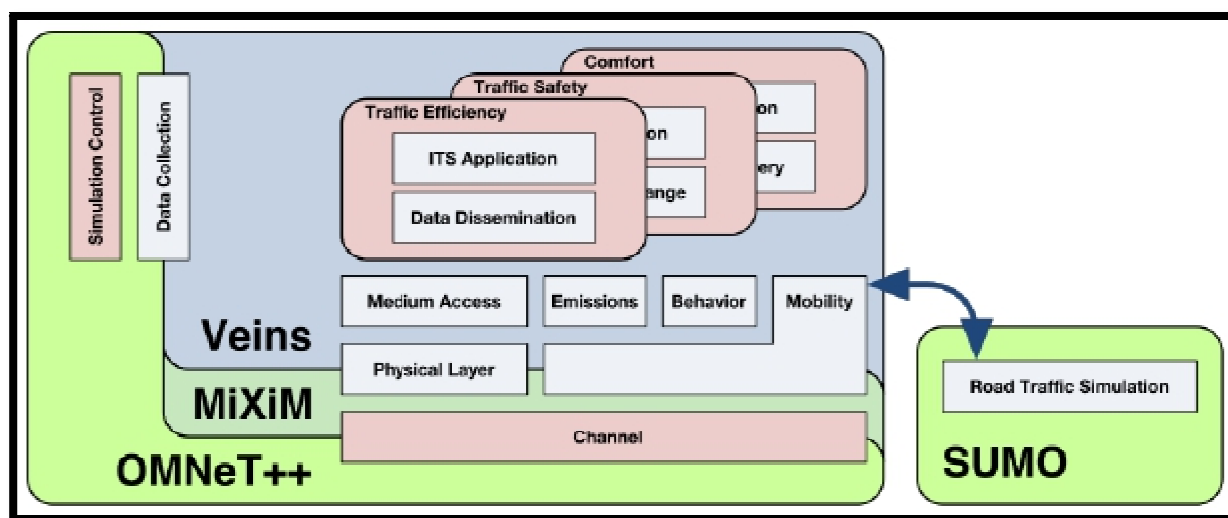


Figure 30: Architecture générale de Veins⁶

III.2.1.5. MIXIM (Mixed Simulator)

Est un Framework de modélisation en OMNeT++ créé pour les réseaux mobiles et les réseaux fixes sans fil (réseaux de capteurs sans fil, les réseaux de corps, les réseaux adhoc, les réseaux de véhicules, etc.). Il propose des modèles détaillés de propagation radio à ondes, interférences estimation, émetteur-récepteur radio consommation d'énergie et les protocoles MAC sans fil.

III.2.1.6. INET Framework

Est un modèle de bibliothèque open-source pour l'environnement de simulation de l'OMNeT. Il fournit des protocoles, des agents et d'autres modèles pour les chercheurs et les étudiants qui travaillent avec les réseaux de communication. INET est particulièrement utile lors de la conception et la validation de nouveaux protocoles, ou d'explorer de nouveaux scénarios ou exotiques.

INET contient des modèles pour la pile à Internet (TCP, UDP, IPv4, IPv6, OSPF, BGP, etc.),

⁶ <http://veins.car2x.org/documentation/>

protocoles de couche de liaison filaire et sans fil (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.), le soutien à la mobilité, les protocoles de MANET, DiffServ, MPLS avec LDP et RSVP-TE signalisation, plusieurs modèles d'application, et de nombreux autres protocoles et des composants. Plusieurs autres Framework de simulation prennent INET comme base, et de l'étendre dans des directions spécifiques, tels que les réseaux de véhicules, superposition/réseaux Peer-to-Peer, ou LTE.

III.3. résultat

III.3.1. Paramètre du scénario

Le tableau suivant résume tout les paramètres importants pour la simulation

environment	auto route
Simulation area	10000 x 50 m
Number of Nodes	10, 20, 30, 40 and 50
Transmission Range	250m
Average speed range	22 m/s, 27 m/s and 33 m/s
Simulation Time	500 Seconds
sendingBitrate	6Mbps
headerLength	80 bit
beaconInterval	1s
dataPacketLength	1024bits
PacketNumber	1000, 5000 and 10000

Table 7:caractéristique du scénario

III.3.2. Critère d'évaluation

Pour comparer l'efficacité de GPSR-2P avec classique GPSR, nous gérons les expériences avec le simulateur de réseau OMNET++ afin de valider notre amélioration proposée, nous analysons le délai (équation 1) et le taux de livraison de paquets (PDR Packet Delivery Ratio) (équation 2) . Ces derniers sont exprimés comme suit:

$$Délai = \frac{\sum_{i=0}^n \text{Temps de reception}_i - \text{Temps d'envoi}_i}{\text{Nombre total de paquets reçus}} \quad (1)$$

$$PDR = \frac{\sum \text{Pquets Recu}}{\sum \text{Pequets Envoyer}} \quad (2)$$

III.3.3. Comparaison du resultats de simulation entre le GPSR classique et le GPSR améliorer (GPSR-2P)

Période entre véhicule 5s

❖ Scénario 1 : nombre de paquets envoyés 1000

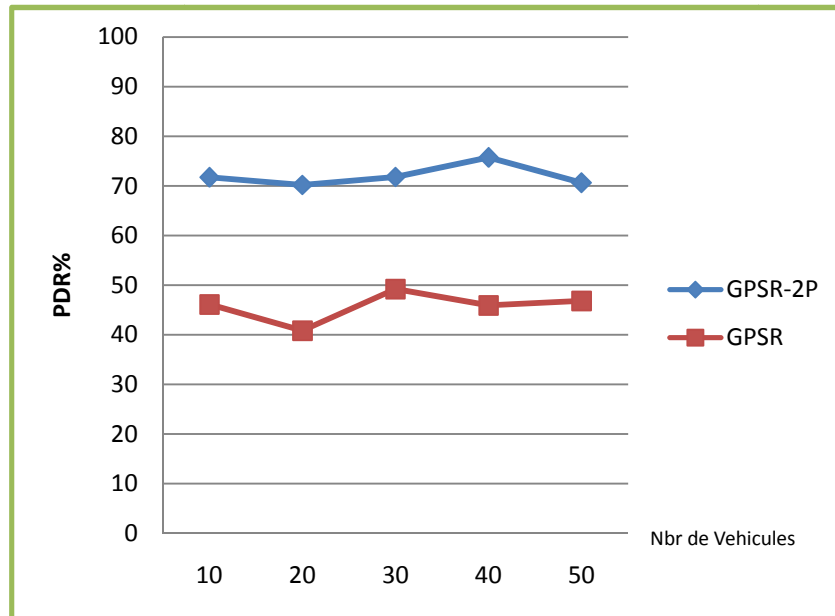


Figure 31:Le taux de livraison des paquets en fonction du nombre de véhicules

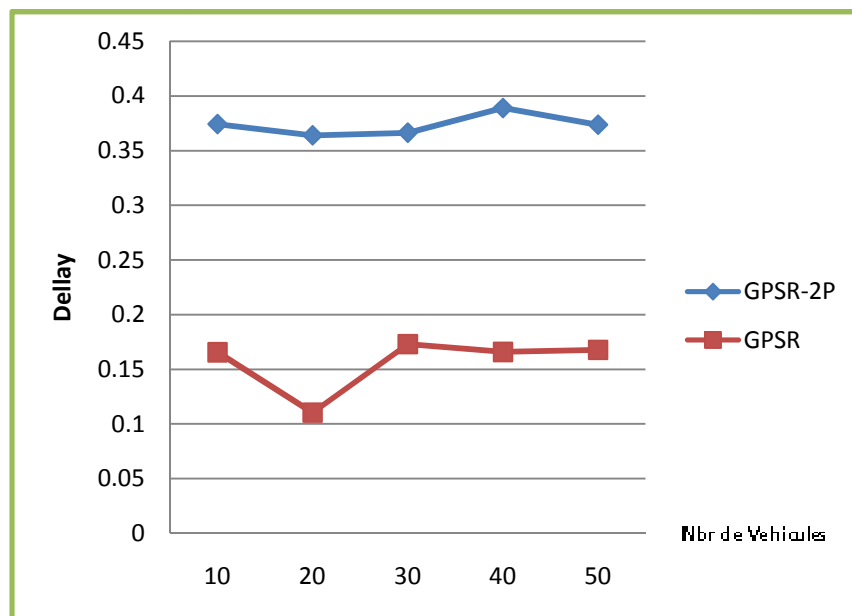


Figure 32:Le délai en fonction en fonction du nombre de véhicules

❖ Scénario 2 : nombre de paquets envoyés 5000

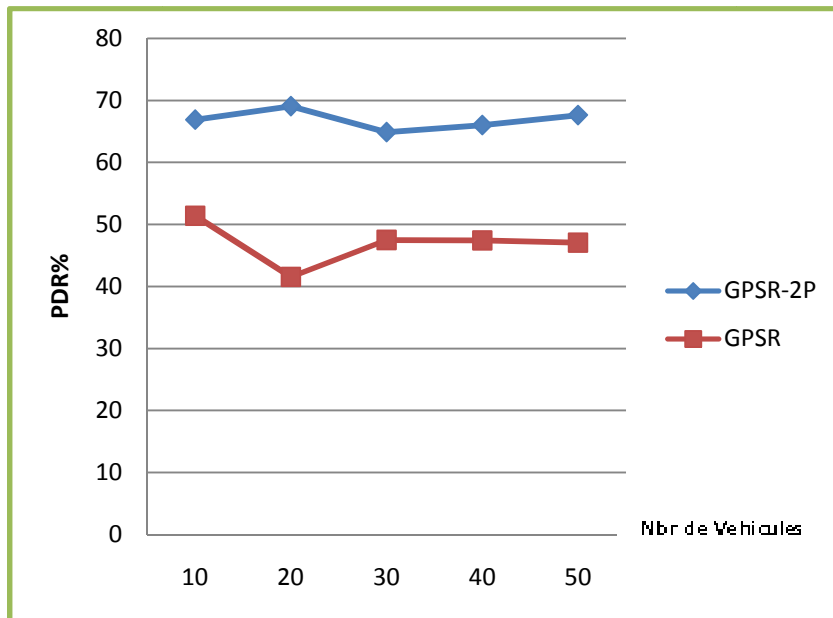


Figure 33:Le taux de livraison des paquets en fonction du nombre de véhicules

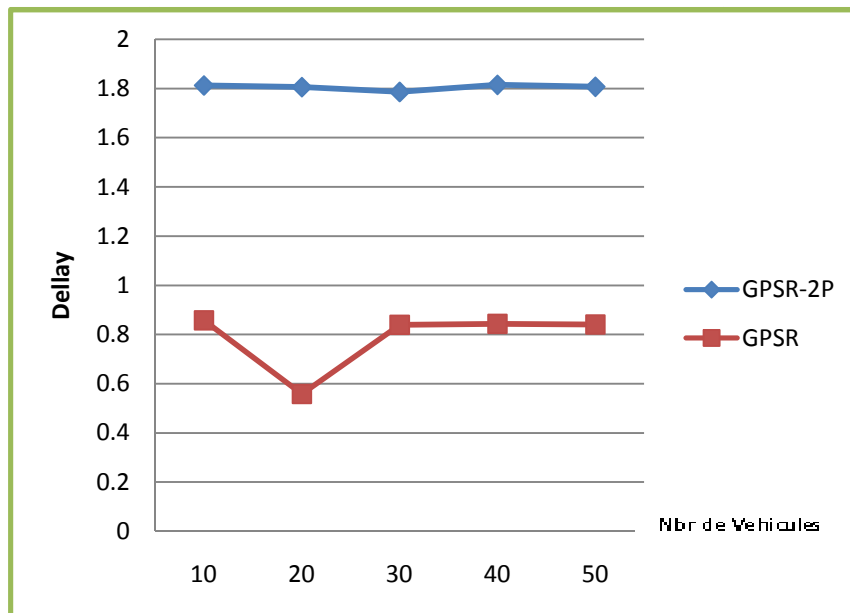


Figure 34Le délai en fonction en fonction du nombre de véhicules

❖ Scénario 3 : nombre de paquets envoyés 10000

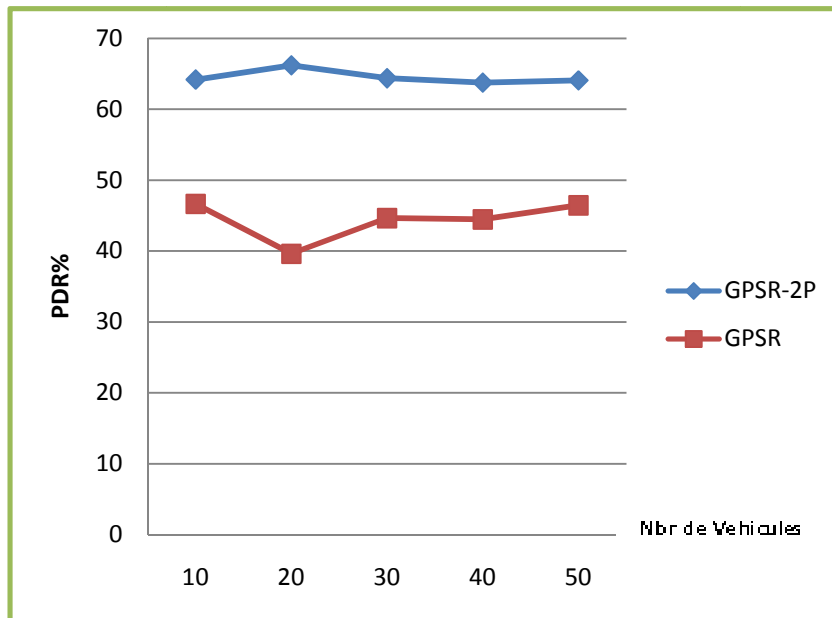


Figure 35:Le taux de livraison des paquets en fonction du nombre de véhicules

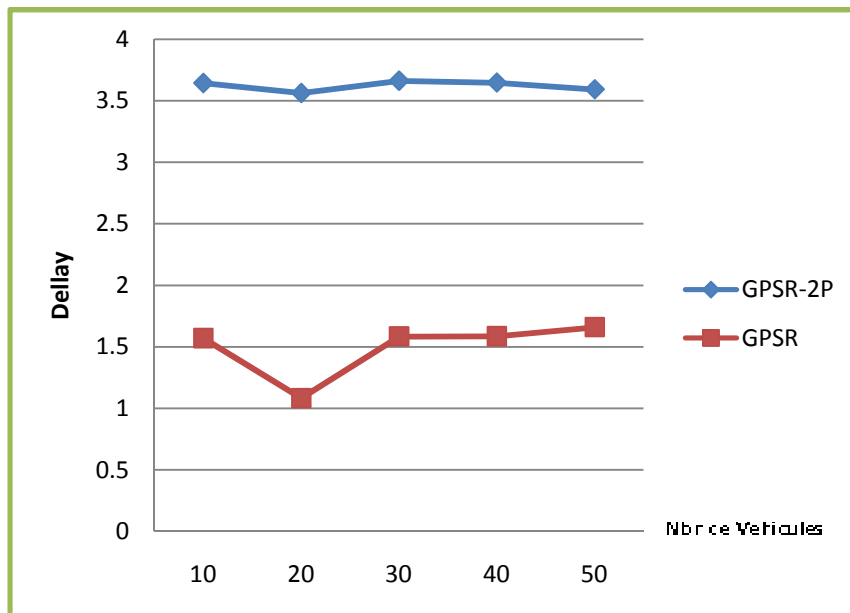


Figure 36:Le délai en fonction du nombre de véhicules

Généralement, lorsque le réseau devient dense, le pourcentage des paquets livrés va diminuer et le retard augmente en raison à la congestion du trafic élevé. Pour étudier l'impact de la densité simulations, le nombre de voitures varie de 10 à 50 et le nombre des paquets envoyés varie de 1000 à 10000. Comme indiqué sur les figures ci-dessus, notre amélioration proposée de GPSR peut augmenter le taux de livraison de paquets jusqu'à 10,8% comparé au GPSR classique. La même chose pour le Delay qui est également diminué au GPSR adapté.

III.3.4. Limitations

L'inconvénient principal de notre travail est la duplication des paquets envoyés car le GPSR-2P lance un deuxième chemin pour le même paquet. Pour cela la solution qu'on va proposer est de

combiner la solution de GPSR lifetime avec le GPSR-2P afin de juger la qualité de liens. Ensuite dans les meilleures conditions radio le GPSR-2P envoie deux paquets différents dans les deux chemins pour augmenter le taux des paquets délivrés d'une part, et d'autre part évite la duplication des paquets. Mais le GPSR-2P utilise deux chemins pour un seul paquet dans les mauvaises conditions radio

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé des modifications sur le protocole de routage GPSR pour pallier les limitations de protocole GPSR classique sur le réseau ad hoc véhiculaire où les nœuds sont capables de changer rapidement ces positions.

Ensuite nous avons présenté un protocole de routage géographique amélioré adapté de GPSR. Nous avons comparé le protocole GPSR classique et le GPSR-2P dans un certain environnement de test et l'analyse du comportement de notre proposition à travers des simulations. Les expériences de simulation montrent que GPSR-2P atteint un niveau significatif d'amélioration du PDR et diminue le délai.

Conclusion générale

Les systèmes de transport intelligents ne sont qu'à leurs balbutiements. A termes, le développement des nouvelles technologies a favorisé une formidable évolution des réseaux véhiculaires. Cette évolution vise à rendre les réseaux plus efficaces, plus fiables, plus sûrs et plus écologiques aussi bien du point de vue de l'industrie automobile que des opérateurs de réseaux et de services. Les réseaux véhiculaires sont en effet une extension des réseaux MANET, permettant des échanges de données véhicules to véhicules ou encore véhicules et infrastructure. Ils visent l'amélioration de la sécurité et l'efficacité du transport routier ainsi que l'amélioration du confort de l'utilisateur en offrant différents services tels que l'accès à Internet, l'aide à la décision et le guidage.

Notre objectif a été d'améliorer le protocole GPSR et pallier les limitations de ce protocole en terme de PDR et DELA.I

Les résultats de simulation montrent que GPSR-2P atteint un niveau significatif d'amélioration du PDR mais il augmente le délai de livraison des paquets du au problème de duplication des paquets.

Perspectives

Dans la continuité du travail présenté, nous pourrions approfondir notre étude afin d'améliorer les résultats obtenus. Les perspectives futures peuvent être proposées à la suite de ce travail est le GPSR 2P-2P (two packets two path)

GPSR 2P-2P est de combiner la solution de GPSR lifetime avec le GPSR-2P afin de juger la qualité de liens. Ensuite dans les meilleures conditions radio le GPSR-2P envoi deux paquets différents dans les deux chemins pour augmenter le taux des paquets délivré d'une part, et d'autre part évité la duplication des paquets. Mais le GPSR-2P utilise deux chemins pour un seul paquet dans les mauvaises conditions radio

Bibliographique

- [Badis et al, 2004] Badis Hakim, Gawedzki Ignacy et Al Agha Khaldoun. (2004). QoS Routing in Ad Hoc Networks Using QOLSR With No Need of Explicit Reservation. September 2004.
- [Bouzite, 2017] Bouzite Bilal, « Evaluation des performances des protocoles de Routage GPSR et AODV dans Les Réseaux VANETs ». laboratoire Systèmes Intelligents et Applications, Université sidi Mohamed ben abdellah Fes MAROC.14 juin 2017.
- [Chakroun, 2014] Omar Chakroun. Technique de contrôle de congestion et de dissémination d'information dans les réseaux véhiculaires. Thèse de doctorat spécialité génie électrique. Septembre 2014.
- [Chaidet et al, 2003] Chaidet Claude , Guérin Lassous Isabelle . Routage QoS et réseaux ad-hoc : de l'état de lien à l'état de nœud» . Institut National De Recherche En Informatique Et En Automatique . Janvier 2003.
- [Charles et al, 1994] Charles E.Perkins et Pravin Bhagwat.(1994). Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. *In Proceedings of the Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications (SIGCOMM'94), volume 24.* October 1994. Pp 234–244.
- [Chelius, 2004] Guillaume Chelius. Architectures et communication dans les réseaux spontanés sans-fils. Thèse de doctorat de L'université Pierre et Marie Curie Paris. 26/04/2004.
- [Clausen et al, 2003] Clausen Thomas et Jacquet Philippe.(2003).Optimized Link State Routing(OLSR) . *RFC 3626.* October 2003.
- [Corson et al, 1999] Corson Scott, Macker Joseph.(1999) .Mobile Ad hoc Networking (MANET) : Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. *Request for Comments (RFC) 2501, IETF .* January 1999.

- [Guizani, 2012] Guizani Badreddine.(2012). Algorithme De Clusterisation Et Protocoles De Routage Dans Les Réseaux Ad Hoc. Thèse de doctorat de l'université de Technologie de Belfort-Montbéliard Tunisie . 04 Avril 2012 . 176. pp 85-115.
- [Jaiswal et al, 2015] R. K. Jaiswal et C. D. Jaidhar, « An Applicability of AODV and OLSR Protocols on IEEE 802.11p for City Road in VANET », in Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems, 2015, p. 286-298.
- [Jerbi, 2008] Jerbi Moez.(2008). Protocoles pour les communications dans les reseaux de vehicules en environnement urbain : Routage et GeoCast bases sur les intersections. Thèse de doctorat de L'universite D'evry Val D'essonne . 06 Novembre 2008.
- [Karp et al, 2000] B. Karp and H.T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," Proc. ACM MobiCom '00, 2000.
- [Khaleda et al, 2009] Khaleda Yacine, Manabu Tsukadaa, José Santab, JinHyeock Choia and Thierry Ernsta .(2009). A usage oriented analysis of vehicular networks: from technologies to applications. *journal of communications*, vol. 4, no. 5. JUNE 2009. Pp 357-368.
- [Korkmaz et al, 2006] Korkmaz Gokhan, Ekici Eylem et Ozguner Fusun.(2006). An Efficient Fully Ad-Hoc Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicular
- [Meraihi, 2011]. Meeaihi Yassine. (2011). Routage dans les reseaux de vehicules (VANET) : cas d'un envernement type ville. Mémoire de Magister en genie électrique Universtie M'hamed bougara-boumerdes.2011.
- [Medjani, 2007]. Medjani Khaled. (2017). Architectures Ad Hoc et les protocoles utilises dans le routage : Essentiellement le protocole hybride. Universites HAOUARI DOUMEDIENE . decembre 2007.
- [Olivier, 2016] Olivier Rivaton. Le routage de l'information dans les réseaux véhiculaires mobiles. Université LAVA. Quebec CANADA.

- [Perkins, 2003] C.E. Perkins, E.M Belding-Royer, and S.Das. Ad hoc on demand Distance Vector (ADOV) Routing, IETF RFC 3561, 2003.
- [Rawashdeh et al, 2008] Z. Y. Rawashdeh et S. M. Mahmud, « Intersection Collision Avoidance System Architecture », in 2008 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2008, p. 493-494.
- [Shukla et al, 2012] R. S. Shukla et N. Tyagi, « Performance of VANET Routing Protocols Using Realistic Mobility Model », in Proceedings of the International Conference on Soft Computing for Problem.
- [Sunder et al, 2003] Sunder, Pai, Boussejra et Mouzna, 2003."GPSR-L: Greedy Perimeter Stateless Routing with Lifetime for VANETS".
- [Wu et al, 2004] Wu Hao, Fujimoto Richard, Guensler Randall et Hunter Michael.(2004). MDDV: A Mobility-Centric Data Dissemination Algorithm for Vehicular Networks. *in Proceedings of the 1st ACM Workshop on Vehicular Ad hoc Networks (VANET 2004)*. October 2004. Pp 47-56.
- [Xu et al, 2003] Xu Q. , Jiang D.(2003). Design and analysis of highway safety communication protocol in 5.9 GHz dedicated short range communication spectrum. *Vehicular Technology Conference. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual, vol. 4*. Pp 2451-2455. Apr. 2003.
- [Zhao et al, 2006] Zhao Jing et Cao Guohong.(2006). VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks. *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings , vol., no.* Avril 2006. Pp.1-12.
- [Zhuo et al, 2009] X. Zhuo, J. Hao, D. Liu et Y. Dai. (2009) .Removal of misbehaving insiders in anonymous VANETs. *in Proceedings of the 12th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, Tenerife. 2009.* Pp106-115. Moustafa & Bourdon
- [Zygmunt et al, 2002a] Zygmunt J. Haas, Marc R. Pearlman et Prince Samar. (2002).The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks. *Internet-draft, IETF MANET*

Webographi

[Car-to-car , 2018] Car-to-car communication consortium C2C-CC. <http://www.car-to-car.org>.
visité en juin 2018.

[Memoireonline , 2009] Implémenter le protocole Greedy Perimeter Stateless Routing de type
VaNet & Adhoc sur OMNet++. https://www.memoireonline.com/04/10/3394/m_Greedy-perimeter-stateless-routing-sur-omnet0.html visité en Mars 2018. visité en Mai 2018

[Collision, 2014] Collision Avoidance Metrics Partnership – CAMP (US).
http://www.its.dot.gov/cicas/cicas_current_act.htm , visité en Juin 2018.

[Ken, 2014] Ken Leonard. (2014). Connected Vehicle Pilots Coming to a Region Near You.
<http://www.transportation.gov/fastlane/connected-vehicle-pilots-coming-region-near-you>.
Visité en Avril 2018.

[Vehicle , 2014] Vehicle Infrastructure Integration – VII. <http://www.its.dot.gov/vii/>. Visité en
Juin 2018.